

Treball final de Grau

ENGINYERIA QUÍMICA

Planta de producció d'anhídrid ftàlic

Laura Jinyi Zheng Lin

Noemi Martos Verdugo

Cristina González Savelieva

Jordi Malla Nualart

Treball final de Grau

ENGINYERIA QUÍMICA

Planta de producció d'anhídrid ftàlic

Capítol 1: Especificacions del projecte

Laura Jinyi Zheng Lin

Noemi Martos Verdugo

Cristina González Savelieva

Jordi Malla Nualart

1	ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE	3
1.1	DEFINICIÓ DEL PROJECTE	3
1.1.1	Bases del projecte	3
1.1.2	Abast del projecte	3
1.1.3	Localització de la planta	3
1.1.3.1	Paràmetres d'edificació i plànol de la parcel·la.....	4
1.1.3.1	Avaluació de les comunicacions i accessibilitat de la planta	5
1.1.3.2	Característiques del medi físic de la zona	6
1.1.4	Abreviacions i nomenclatura	9
1.2	CARACTERÍSTIQUES I PROPIETATS DELS COMPOSTOS.....	11
1.2.1	Producte d'interès: anhídrid ftàlic	11
1.2.2	Matèries primeres	12
1.2.2.1	O-xilè	13
1.2.2.2	Oxigen.....	14
1.2.3	Subproductes i altres compostos	14
1.2.3.1	Nitrogen.....	14
1.2.3.2	Aigua	15
1.2.3.3	Diòxid de carboni	16
1.2.3.4	Anhídrid maleic	17
1.2.3.5	Àcid ftàlic.....	18
1.2.3.6	Ftalida	18
1.2.3.7	O-tolualdehid.....	19
1.2.3.8	Producte pesant.....	19
1.2.4	Catalitzador O 4-28	20
1.2.5	Corrosió i materials.....	20
1.2.5.1	Acer inoxidable 316L	23
1.2.5.2	Tefló (PTFE)	23
1.2.5.3	Llana de roca	23
1.2.5.4	Canonades.....	24

1.3	DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ.....	24
1.3.1	Introducció	24
1.3.2	Selecció del procés	24
1.3.3	Diagrama de blocs.....	26
1.3.4	Diagrama del procés	27
1.4	CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA	30
1.4.1	Descripció qualitativa de la planta.....	30
1.4.2	Distribució per àrees.....	30
1.4.2.1	Àrea 100: Emmagatzematge de matèries primeres	31
1.4.2.2	Àrea 200: Pretractament de reactius, reacció d'oxidació i SC	32
1.4.2.3	Àrea 300: Purificació del producte final.....	32
1.4.2.4	Àrea 400: Solidificació del producte i subproducte	32
1.4.2.5	Àrea 500: Emmagatzematge del producte final i MA.....	32
1.4.2.6	Àrea 600: Tractament de residus	34
1.4.2.7	Àrea 700: Laboratoris / sala de control	34
1.4.2.8	Àrea 800: Serveis de planta	34
1.4.2.9	Àrea 900: Oficines / menjador / vestuaris	34
1.4.2.10	Àrea 1000: Àrea d'accés	34
1.4.2.11	Àrea 1100: Taller	35
1.4.2.12	Àrea 1200: Bassa contra incendis.....	35
1.4.3	Planificació temporal i plantilla de treballadors.....	35
1.5	ESPECIFICACIONS I NECESSITATS DE SERVEIS.....	36
1.5.1	Necessitats de serveis a la planta.....	36
1.5.1.1	Aigua de xarxa	36
1.5.1.2	Aigua descalcificada	36
1.5.1.3	Aigua contra incendis	37
1.5.1.4	Oli tèrmic	38
1.5.1.5	Nitrogen.....	39
1.5.1.6	Aire comprimit	39
1.5.1.7	Electricitat.....	40
1.5.1.8	Gas natural.....	41
1.5.1.9	Vapor d'aigua	41



1.6	BALANÇ DE MATÈRIA	42
1.7	BIBLIOGRAFIA	48

1 ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

1.1 DEFINICIÓ DEL PROJECTE

1.1.1 Bases del projecte

L'objectiu principal del projecte és l'estudi i la viabilitat del disseny d'una planta química que produeix anhídrid ftàlic a partir d'aire i o-xilè. La planta es situa al terme municipal de Tarragona projectada sobre el polígon industrial "NYLON-66".

A continuació es detallen les especificacions tècniques del projecte:

- Capacitat de la planta: 30.000 tones anuals d'anhídrid ftàlic.
- Funcionament: de manera continua 300 dies a l'any amb 2 parades a l'any per realitzar les tasques de manteniment.
- Presentació del producte: es presenta en escames.

1.1.2 Abast del projecte

El projecte inclou:

- Disseny i especificacions de totes de les unitats de reacció i procés de la producció de l'anhídrid ftàlic.
- Disseny i especificacions de les unitats d'emmagatzematge de les matèries primeres, producte acabat i subproductes generats durant el procés de fabricació.
- Disseny del sistema de control necessari per al correcte funcionament de la planta.
- Especificació de les unitats de servei necessàries.
- Disseny del sistema de seguretat i higiene adequats a la planta.
- Identificació dels focus d'impacte ambiental i tractament dels residus sòlids, líquids i gasosos.
- Avaluació econòmica i l'estudi de la viabilitat de la planta.
- Posada en marxa i operació de la planta.
- Diagrames generals, P&ID i implementació.

1.1.3 Localització de la planta

El terreny escollit per duu a terme el projecte es situa en el polígon "NYLON-66" al municipi de Tarragona. Tarragona és la capital de la província catalana que té el mateix nom i també ho és de la comarca del Tarragonès.

La planta compleix amb la normativa urbanística del polígon industrial, tenint en compte els “retranqueigs” a vials i veïns, alçada dels edificis, ocupació de la parcel·la i edificabilitat.



Figura 1.1: Ubicació de Tarragona a Espanya.

La parcel·la té una superfície total de 53.235 m² amb una resistència del terreny de 2 kg/cm² a 1,5m de profunditat sobre graves. Els serveis disponibles i connexions que té el polígon es poden detallar en la taula 1.1:

Taula 1.1.- Serveis disponibles a la parcel·la escollida per l'emplaçament de la planta.

Servei disponible	Tipus de connexió
Energia elèctrica	Connexió des de la línia de 20 kV a peu de parcel·la
Gas natural	Connexió a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm ²)
Clavegueram	Xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3,5 m (diàmetre del col·lector de 800 mm)
Aigua d'incendis	La màxima pressió és de 4 kg/cm ²
Aigua de xarxa	Escomesa a peu de parcel·la a 4 kg/cm ² amb un diàmetre de 200 mm

1.1.3.1 Paràmetres d'edificació i plànol de la parcel·la

Els paràmetres d'edificació establerts segons la normativa urbanística del municipi de Tarragona per al polígon "NYLON-66" es poden veure a la taula 1.2:

Taula 1.2.- Paràmetres d'edificació del polígon industrial “NYLON-66”.

Paràmetre	
-----------	--

Edificabilitat	1,5 m ² / m ² terra
Ocupació màxima de la parcel·la	75%
Ocupació mínima de la parcel·la	20% de la superfície d'ocupació màxima
"Retranqueig"	5 m a vianants i veïns
Altura màxima	16 m i 3 plantes excepte en producció justificant la necessitat per el procés
Altura mínima	4 m i una planta
Aparcaments	1 plaça / 150 m ² construïts
Distància entre edificis	1/3 de l'edifici més alt amb un mínim de 5 m

A continuació es mostra el plànol de la parcel·la on s'ubicarà la planta química de producció d'anhídrid ftàlic.

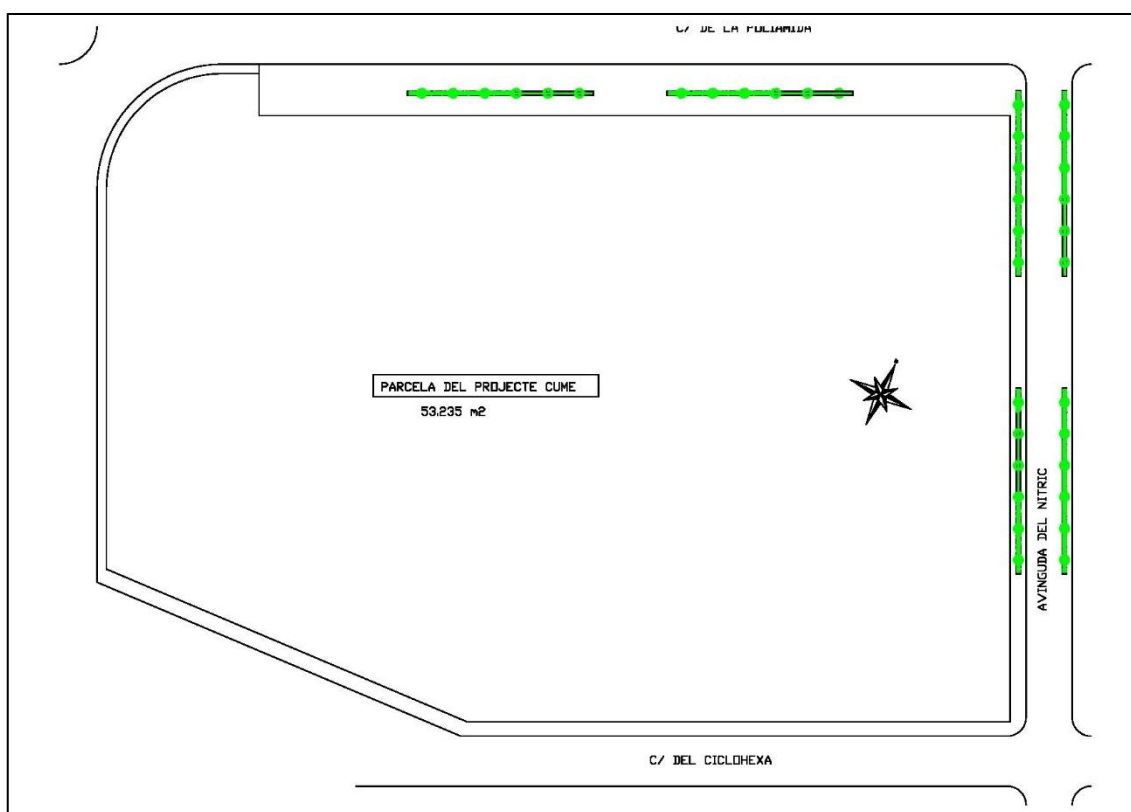


Figura 1.2: Plànol de la parcel·la per a la ubicació de la planta d'anhídrid ftàlic.

1.1.3.1 Avaluació de les comunicacions i accessibilitat de la planta

Les comunicacions i accessos d'una planta química són punts claus en el moment d'escollir la ubicació, principalment pel que fa referència a l'abast de les matèries primeres, així com a la distribució del producte un cop acabat per la seva comercialització.

A continuació es detallen les infraestructures de transport de primer nivell situades a les proximitats del municipi de Tarragona.

- Transport terrestre: l'AP-7 és una carretera que pertany a un dels eixos prioritaris de connexió entre el territori espanyol amb la resta d'Europa, es denominada com l'autopista del Mediterrani. Amb l'autopista AP-2 i per la N-240 es pot anar cap Lleida i al centre del territori espanyol.
- Transport ferroviari: compta amb dues estacions; una situada al centre de la ciutat que ofereix connexió amb trens regionals (Barcelona, Tortosa, Reus i Lleida) i de llarg recorregut nacional i internacional (França); i una altra l'Estació d'Alta Velocitat del "Camp de Tarragona" que té un ampli ventall d'enllaços amb Barcelona, Lleida, Saragossa, Madrid, Còrdova, Sevilla i properament amb tota Europa.
- Transport marítim: compta amb un port comercial dels més transitats del Mediterrani, el Port de Tarraco, la seva activitat està relacionada amb el transport de productes químics. A uns 100 km també es pot trobar el port Barcelona-Zona Franca. Aquests ports estan inclosos en grans rutes marítimes de transport de mercaderies internacionals. Cal destacar que la Zona d'Activitat Logística (ZAL) del port de Barcelona és un gran centre internacional amb excel·lents connexions i es considerat com un dels més importants del territori nacional.
- Transport aeri: tot i que el transport aeri no és un dels més importants a nivell nacional, l'aeroport de Reus està situada a 7 km de Tarragona i el segon centre de càrrega aèria més important del territori espanyol es troba Barcelona-El Prat a 85 km de Tarragona.

1.1.3.2 Característiques del medi físic de la zona

- Climatologia

La ciutat està situada a l'extrem nord-oriental de la Península Ibèrica i el clima és mediterrani litoral sud. La distribució de les precipitacions és irregular, amb un total anual escàs. L'estació més plujosa és la tardor i la menys l'estiu. El període àrid comprèn els mesos de juny i juliol, si bé n'hi ha un el mes de febrer. El règim tèrmic es caracteritza per tenir estius calorosos i hiverns moderats. Les glaçades són poc freqüents, exceptuant els tres mesos d'hivern la resta de l'any no n'hi ha.

A la figura 1.3 es mostra les temperatures i precipitacions mensuals mitjanes dels últims anys a Tarragona.

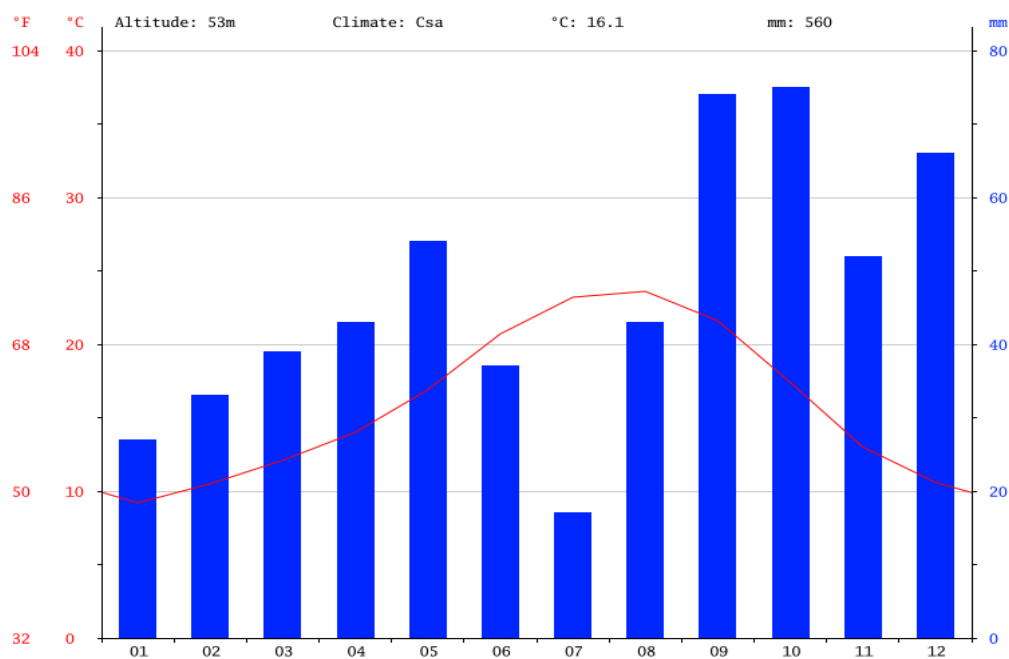


Figura 1.3: Climograma del municipi de Tarragona.

- Geologia

Les transgressions i regressions marines, així com les aportacions originades per l'acció erosiva dels rius van originar a la plana una litologia en la qual es poden diferenciar tres períodes geològics: Miocè continental (situat a l'extrem nord-oest), Miocè marí (en el sector meridional) i Quaternari (al marge dret del riu Francolí). En la figura 1.4 es pot observar l'orografia del municipi.

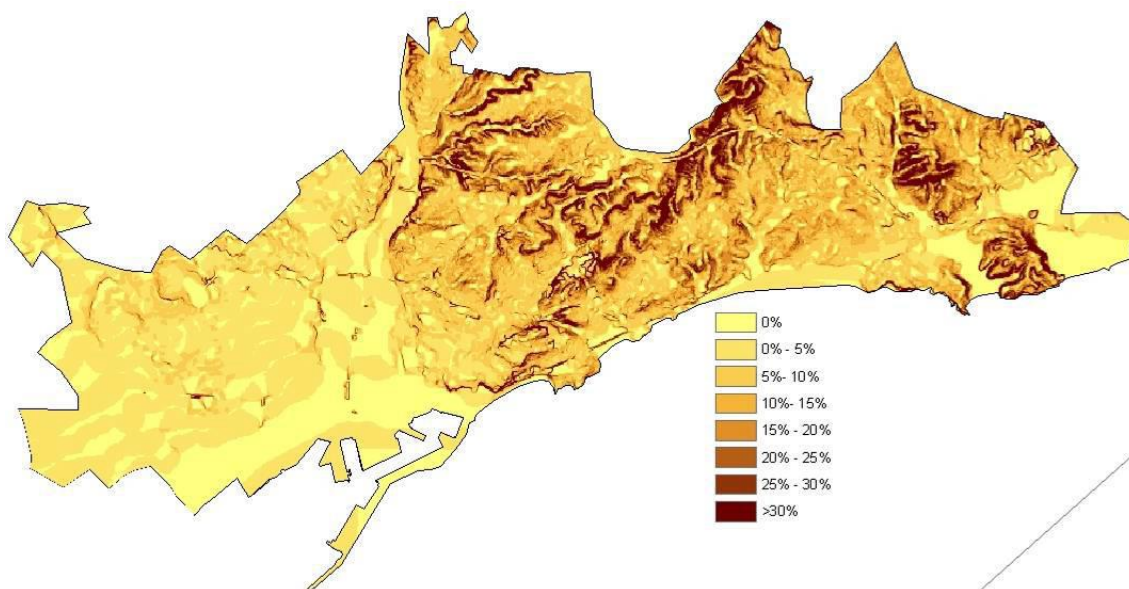


Figura 1.4: Mapa de les pendents del municipi de Tarragona.

Des del punt de vista geomorfològic, el municipi correspon a una depressió plena de materials tendres terciaris i quaternaris amb terrenys geològics del Cenozoic.

Es pot observar a la figura 1.5, Tarragona presenta pràcticament en tota la seva superfície una matriu formada per graves (amb terres, llims i argiles). El sector llevant de la ciutat està dominat per argiles i calcarenites i al centre destaca una franja en sentit obliqua formada per calcàries i margues.

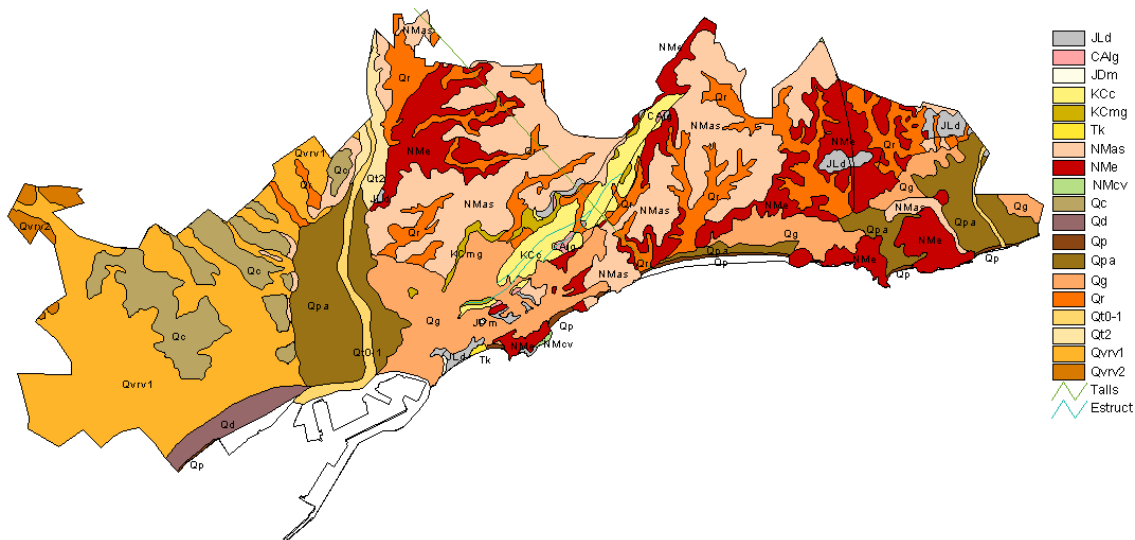


Figura 1.5: Mapa geològic del municipi de Tarragona.

➤ Sismologia

La sismologia és un aspecte a tenir en compte per poder evitar possibles danys ocasionats per un possible sisme. Catalunya es pot considerar com una zona d'activitat sísmica moderada, tot i que hi ha possibilitat que es produeixi esdeveniments amb un elevat potencia de danys tal i com es recull al registre històric i instrumental realitzat per l'Institut Cartogràfica i Geològic de Catalunya.

La norma de construcció sismoresistent (NCSE-02) té com a objectiu proporcionar els criteris que han de seguir-se en el territori espanyol per la consideració de l'acció sísmica en el projecte, construcció, reforma i conservació d'aquelles edificacions i obres a les que sigui aplicable. La finalitat és evitar la pèrdua de vides humanes, reducció de danys i cost econòmic en cas de que es produeixi un futur terratrèmol.

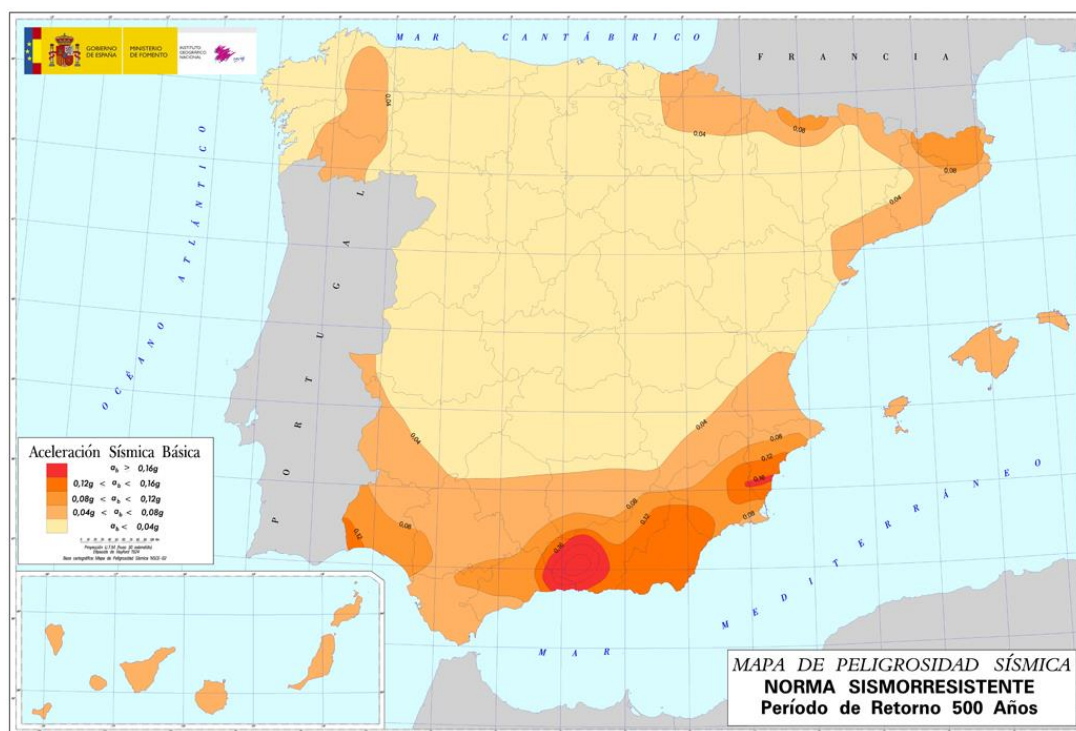


Figura 1.6: Mapa sísmic de la normativa sismoresistent.

1.1.4 Abreviacions i nomenclatura

En aquest apartat es duu a terme l'especificació de la nomenclatura utilitzada durant tot el projecte per anomenar equips, àrees de la planta, productes i reactius.

A la taula 1.3 es detallen les àrees principals de la planta i la nomenclatura corresponent seguides d'una breu descripció.

Taula 1.3.- Àrees de la planta.

Codi	Descripció
A-100	Emmagatzematge de matèries primeres
A-200	Pretractament reactius, reacció d'oxidació i <i>switch condenser</i>
A-300	Purificació del producte final
A-400	Solidificació del producte
A-500	Emmagatzematge de l'anhídrid ftàlic i anhídrid maleic
A-600	Tractament de residus
A-700	Laboratoris / sala de control
A-800	Serveis de planta
A-900	Oficines / menjador / vestuaris
A-1000	Àrea d'accés
A-1100	Taller

A-1200	Bassa contra incendis
--------	-----------------------

A la taula 1.4 es detallen la codificació de tots els equips dels que es disposa a la planta de producció dissenyada.

Taula 1.4.- Nomenclatura d'equips.

Codi	Equip	Codi	Equip
A	Agitador	EX	Extractor
BA	Bàscula	GA	Generador d'oli tèrmic
C	Columna	GE	Generador elèctric
CE	Cargol sense fi	GF	Grup de fred
CO	Compressor	LG	Neteja de gasos
CON	Condensador	M	Motor
CR	Cristal·litzador	OG	Oxidador catalític
CV	Caldera de vapor	P	Bomba
DES	Descalcificador	PV	Bomba buit
DE	Estació depuradora	R	Reactor
DEC	Decantador	RB	Reboiler
DP	Decomposer	SC	Switch condenser
DZ	Desionitzador	T	Tanc
E	Bescanviador	TP	Tanc pulmó
EC	Escamadora	TR	Torre de refrigeració
EL	Elevador	TV	Tolva
EN	Estació de nitrogen líquid	UF	Filtre
ES	Ensacadora de big bags	V	Ventilador

A la taula 1.5 es mostra la nomenclatura tant dels components com els fluids de serveis emprats al llarg del procés.

Taula 1.5.- Nomenclatura dels components i dels fluids de servei.

Codi	Component	Codi	Component
AC	Aigua contra incendis	MA	Anhídrid maleic
AD	Aigua desionitzada	N	Nitrogen
ADS	Aigua descalcificada	O	Oxigen
AF	Àcid ftàlic	OX	O-xilè
AI	Aire d'instrumentació	P	Pesant
AP	Aigua potable/dutxes/neteja ulls	PA	Anhídrid ftàlic
AR	Aigua de refrigeració	RW	Aigua residual
AS	Aire de serveis	SF	Sal fosa

AT1	Oli tèrmic Therminol 59
AT2	Oli tèrmic Therminol VP1
DC	Diòxid de carboni
GN	Gas natural

V	Vapor
VA	Vapor d'aigua
VE	Venteig
W	Aigua

1.2 CARACTERÍSTIQUES I PROPIETATS DELS COMPOSTOS

Durant la producció del producte d'interès de la planta, l'anhídrid ftàlic, intervenen diversos compostos al procés, tant com a matèries primeres (o-xilè i oxigen), com subproductes (o-tolualdehid, ftalida, anhídrid maleic, aigua, producte pesant i àcid ftàlic) i com a altres compostos, com poden ser el nitrogen o les impureses.

En aquest apartat es descriuran cadascun d'ells, proporcionant les característiques i propietats dels compostos que intervenen durant el procés.

1.2.1 Producte d'interès: anhídrid ftàlic

L'any 1836, Auguste Laurent, químic francès ideòleg de la nomenclatura sistemàtica per a la química orgànica, va descobrir l'anhídrid ftàlic, compost orgànic de fórmula $C_8H_4O_3$, també conegut com 1,3-isobenzofurandione, phthalandione, 1,2-benzenedicarboxylic o 1,3-dioxophthalan.

L'anhídrid ftàlic s'utilitza a la fabricació de plastificants, polièster, resines alquídiques, ftalines, ftalats, àcid benzoic, índigo sintètic, fibres sintètiques, colorants, pigments, productes farmacèutics i productes clorats.

Aquest compost es presenta com un líquid de color blanc que cristal·litza en forma de cristalls monoclíncics o ròmbics i té com a característica una olor picant i asfixiant. És soluble en aigua calenta, benzè, disulfur de carboni, alcohol i lleugerament soluble en aigua i èter.

És un compost reactiu i també està format per un anell aromàtic molt estable i capaç de reaccionar.



Figura 1.7: Aspecte sòlid de l'anhídrid ftàlic.

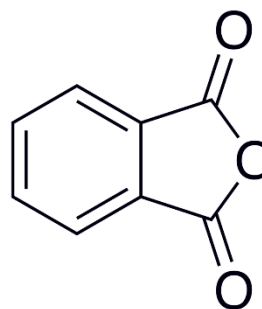


Figura 1.8: Estructura de l'anhídrid ftàlic.

A la taula 1.6 es mostren les propietats físiques de les que es disposa d'aquest compost.

Taula 1.6.- Propietats físiques de l'anhídrid ftàlic.

Nº CAS	85-44-9
Pes molecular [g/mol]	148,1
Punt d'ebullició [°C]	295
Punt de fusió [°C]	130,8
Pressió de vapor a 20°C [mmHg]	$2 \cdot 10^{-4}$
Densitat relativa de vapor	6,6 (aire=1)
Densitat a 20°C [g/cm ³]	1,53
Solubilitat a l'aigua a 25°C [ppm]	6200

El major mercat d'anhídrid ftàlic és la fabricació de plastificants de ftalat, que consumeix quasi el 53% de tot l'anhídrid al 2014. Àsia, concretament la Xina, és el major consumidor del producte d'interès d'aquesta planta per a la producció de plastificants, suposa, aproximadament, el 61% del consum. Els mercats que segueixen a Àsia són Europa central i Amèrica del nord.

Seguit de la fabricació de plastificants de ftalat es troba la fabricació de resines alquídiques, que l'any 2014 va representar el 21% del consum. De nou, Àsia encapçala el mercat, amb un 67% del consum per a la fabricació de resines alquídiques, seguit d'Europa central, Amèrica del Nord i Orient mitjà.

La demanda d'aquest producte ha descendit als últimes anys influenciat per les condicions econòmiques generals, degut a que el consum d'anhídrid ftàlic depèn en gran mesura de l'activitat de la construcció, la producció d'automotriu i la fabricació d'equip original.

Malgrat això, s'espera que el consum mundial d'anhídrid ftàlic creixi en una taxa anual promig anual del 2,4% fins al 2019.

1.2.2 Matèries primeres

En el procés que es duu a terme a la planta, la producció d'anhídrid ftàlic es realitza a través de l'oxidació catalítica del o-xilè. Tot seguit es parlarà de les dues matèries primeres del procés d'aquesta planta.

1.2.2.1 O-xilè

L'orto-xilè, hidrocarbur aromàtic de fórmula C_8H_{10} , és un isòmer constitucional del m-xilè i del p-xilè. Estructuralment està format per un anell benzoic alquilat amb dos grups metils. També se'l pot anomenar 1,2-xilè o 1,2-dimetilbenzè.

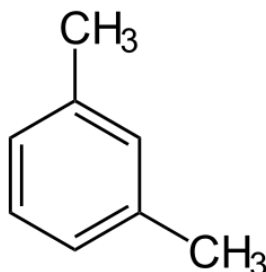


Figura 1.9: O-xilè.

S'obté del procés d'aromatització catalítica d'una corrent lleugera d'hidrocarburs i es separa de la resta del seus isòmers per una destil·lació.

A la indústria s'utilitza per la síntesi d'anhídrid ftàlic, colorants, plastificants del PVC, a la elaboració de resines polièster i alquídiques (pintures i vernissos), insecticides o carburants per a motors, entre d'altres aplicacions.

En condicions normals aquest compost és un líquid inflamable e incolor, no corrosiu, insoluble en aigua i amb una olor característica semblant al toluè. En estat gasós també és inflamable. Reacciona violentament amb oxidants forts, com pot ser l'àcid nítric.

A continuació es recullen les seves propietats físiques en una taula.

Taula 1.7.- Propietats físiques de l'o-xilè.

Nº CAS	95-47-6
Pes molecular [g/mol]	106,2
Punt d'ebullició [°C]	144,4
Punt de fusió [°C]	-24
Pressió de vapor a 20°C [kPa]	0,7
Densitat a 15°C [g/mL]	0,8820 – 0,8850
Densitat relativa de vapor	3,7 (aire=1)
Solubilitat a l'aigua a 20°C	Insoluble
Viscositat a 20°C [mPa·s]	0,620 – 0,810
Punt d'inflamabilitat [°C]	32 c.c
Temperatura d'autoignició [°C]	463

L'o-xilè es fabrica i/o importa l'Àrea Econòmica Europea entre 100.000 - 1.000.000 tn/any.

1.2.2.2 Oxigen

El dioxigen, O₂, generalment anomenat simplement oxigen, és una molècula formada per dos àtoms d'oxigen.

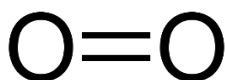


Figura 1.10: Molècula d'oxigen.

És un gas, en condicions normals de pressió i temperatura, incolor, inodor e insípid. Pràcticament reacciona amb tots els metalls, exceptuant els metalls nobles.

A la taula 1.8 es recullen les propietats físiques més destacables de l'oxigen.

Taula 1.8.- Propietats físiques de l'oxigen.

Nº CAS	7782-44-7
Pes molecular [g/mol]	32.00
Punt d'ebullició [°C]	-183
Punt de fusió [°C]	-218.4
Densitat a 0°C i 1.013 bar [kg/m³]	1429
Densitat relativa de vapor	1.1 (aire=1)
Solubilitat a l'aigua a 20°C [mL/100mL]	3.1
Viscositat a 20°C [cP]	0.018
Viscositat dinàmica [Ns/m²]	2.05·10 ⁻⁵

A les atmosferes enriquides d'oxigen amb presència de materials combustibles són susceptibles de provocar incendis que es propaguen amb gran rapidesa així com explosions. Aquestes circumstàncies seran estudiades a l'apartat corresponent a la seguretat de la planta.

1.2.3 Subproductes i altres compostos

1.2.3.1 Nitrogen

El dinitrogen o nitrogen molecular, N₂, generalment conegut simplement com a nitrogen, és una molècula diatòmica homonuclear constituïda per dos àtoms de nitrogen. Es presenta en forma de gas, a condicions normals de pressió i temperatura, i constitueix el 78% de l'aire atmosfèric. S'obté per a usos industrials a partir de la destil·lació fraccionada d'aire líquid.

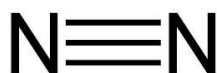


Figura 1.11: Estructura de la molècula de nitrogen.

És un gas inert, no metall, incolor, inodor e insípid que no intervé a la combustió ni a la respiració tot hi composit les quatre cinquenes parts de l'aire atmosfèric. A la taula 1.9 es detallen les propietats físiques de la molècula de nitrogen.

Taula 1.9.- Propietats físiques del nitrogen.

Nº CAS	7727-37-9
Pes molecular [g/mol]	28,01
Punt d'ebullició [°C]	-196
Punt de fusió [°C]	-210
Densitat a 0°C i 1.013 bar [kg/m³]	1,25
Densitat relativa de vapor [g/ml]	0,97 (aire=1)
Viscositat dinàmica a 25°C [Ns/m²]	$1,79 \cdot 10^{-5}$

L'aplicació comercial més important de la molècula de nitrogen és l'obtenció d'amoniac, que a la seva vegada és emprat a la fabricació de fertilitzants i àcid nítric. També és utilitzat a la manufactura i processos de fabricació, especialment, a l'assemblatge de components metàl·lics.

Per la seva baixa reactivitat, cal fer una especial menció a la utilització del nitrogen com a atmosfera inert a tancs d'emmagatzematge de líquids explosius.

Treballar amb nitrogen pot arribar a ser perillós, depenen del tipus de feina i les quantitats amb les que s'estigui treballant, es necessari portar un EPI adequat.

1.2.3.2 Aigua

L'aigua té una estructura molecular simple, és una substància química formada per dos àtoms d'hidrogen enllaçats covalentment, mitjançant un parell d'electrons, amb un d'oxigen.

Aquesta molècula és polar, és a dir, la densitat electrònica dins la mateixa està distribuïda de manera irregular. Es degut a aquesta polaritat que els ions i altres molècules tenen facilitat per dissoldre's en aigua.

En condicions normals és un líquid incolor o transparent en capes de poc espessor, inodor i insípid, també es pot trobar en estat sòlid o gasós. Les propietats físiques de la molècula, s'atribueixen principalment als enllaços per pont d'hidrogen.

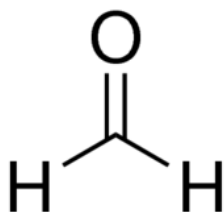


Figura 1.12: Estructura de l'aigua.

L'aigua a la indústria absorbeix una mitjana del 20% del consum mundial, s'empra per la refrigeració, el transport, com absorbent, matèria primera o per netejar en una gran varietat de processos industrials. Després de ser utilitzada la major part s'elimina tornant-la novament a la natura prèviament realitzant-li el tractament adient.

A la taula 1.10 es recopilen les propietats físiques destacables de l'aigua.

Taula 1.10.- Propietats físiques de l'aigua.

Nº CAS	7732-18-5
Pes molecular [g/mol]	18,02
Punt d'ebullició [°C]	100
Punt de fusió [°C]	0
Pressió de vapor a 20°C [atm]	0,0231
Densitat a 10°C [kg/m³]	1000
Solubilitat a l'aigua (%)	100
Viscositat a 20°C [cP]	1

1.2.3.3 Diòxid de carboni

El diòxid de carboni és un gas incolor, inodor i insípid. És un dels productes finals de la combustió dels combustibles orgànics, de la respiració dels animals i d'alguns vegetals. També és un dels gasos que ajuda a regular la temperatura de la terra gràcies a l'efecte hivernacle.



Figura 1.13: Estructura del diòxid de carboni.

El diòxid de carboni en estat líquid i sòlid s'empra com a refrigerant, especialment en el sector alimentari durant el transport i emmagatzematge d'aliments congelats. També s'utilitza per produir refrescs carbonats i sífó. A la taula 1.11 es recullen les propietats del diòxid de carboni.

Taula 1.11.- Propietats físiques del diòxid de carboni.

Nº CAS	124-38-9
Pes molecular [g/mol]	44,01
Punt d'ebullició [°C]	-57
Punt de fusió [°C]	-79
Pressió de vapor a 20°C [kPa]	5720
Densitat a 0°C i 1.013 bar [kg/m³]	1,977
Densitat relativa de vapor	1,5 (aire=1)
Solubilitat a l'aigua a 20°C [mL/100 mL]	88
Viscositat a -78°C [cP]	0,07
Viscositat dinàmica [Ns/m²]	14,8·10 ⁻⁶

1.2.3.4 Anhídrid maleic

L'anhídrid maleic, C₄H₂O₃, és un sòlid incolor o blanc amb olor a acre. Moltes substàncies químiques comercials es poden obtenir a partir de l'anhídrid maleic, per exemple, l'àcid fumàric, l'àcid succínic, l'àcid aspàrtic i l'àcid tartàric.

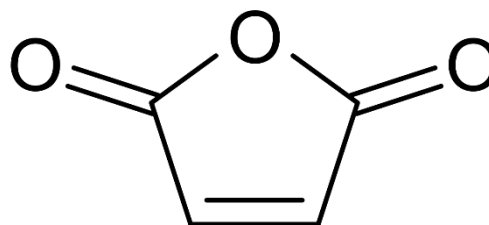


Figura 1.14: Aspecte sòlid de l'anhídrid maleic. **Figura 1.15:** Estructura de l'anhídrid maleic.

L'anhídrid maleic es produïa tradicionalment per l'oxidació del benzè o altres compostos aromàtics. A partir del 2006, plantes petites segueixen utilitzant benzè degut a l'augment del preu d'aquest. La majoria de plantes d'anhídrid maleic utilitzen n-butà com a matèria primera. La major aplicació és la producció de resines mitjançant la reacció de esterificació. A la taula 1.12 es poden observar les seves propietats físiques.

Taula 1.12.- Propietats físiques de l'anhídrid maleic.

Nº CAS	108-31-6
Pes molecular [g/mol]	98,06
Punt d'ebullició [°C]	202
Punt de fusió [°C]	53
Pressió de vapor a 25°C [Pa]	25
Densitat [g/cm³]	1,5
Densitat relativa de vapor	3,4 (aire=1)
Punt d'inflamabilitat [°C]	102 c.c
Temperatura d'autoignició [°C]	477

1.2.3.5 Àcid ftàlic

L'àcid ftàlic és un àcid aromàtic dicarboxílic, $C_8H_6O_4$, i es tracta d'un sòlid incolor, soluble en aigua i en alcohol. És un isòmer de l'àcid isoftàlic i l'àcid tereftàlic. Els isòmers d'àcids ftàlics es presenten com a pols cristal·lí, generalment blanc.

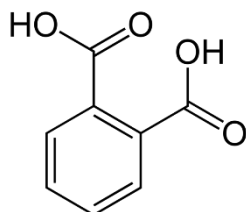


Figura 1.16: Estructura de l'àcid ftàlic.

A la taula 1.13 es mostren les propietats físiques de l'àcid ftàlic.

Taula 1.13.- Propietats físiques de l'àcid ftàlic.

Nº CAS	201-873-2
Pes molecular [g/mol]	166,1
Punt de fusió [°C]	191
Densitat [g/cm³]	1,59
Densitat relativa de vapor	5,7 (aire=1)
Solubilitat a l'aigua a 25°C [mL/100 mL]	0,625
Punt d'inflamabilitat [°C]	168 c.c

1.2.3.6 Ftalida

La ftalida és un compost químic orgànic amb fórmula molecular, $C_8H_6O_2$. És una lactona que serveix com a estructura química bàsica per a una varietat de compostos més complexos inclosos colorants, els fungicides i els olis naturals.

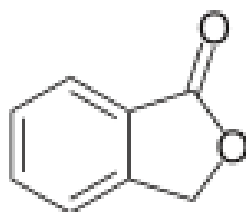


Figura 1.17: Estructura de la ftalida.

A la taula 1.14 es mostren les propietats físiques de la ftalida.

Taula 1.14.- Propietats físiques de la ftalida.

Nº CAS	87-41-2
Pes molecular [g/mol]	134,1
Punt d'ebullició [°C]	290

Punt de fusió [°C]	71
Pressió de vapor a 25°C [kPa]	0,0003
Densitat a 20°C [g/cm³]	1,16

1.2.3.7 O-tolualdehid

Tolualdehid és un intermediari important de productes químics refinats. S'utilitza per sintetitzar molts productes químics, incloent fàrmacs, espècies i colorants. Els isòmers de tolualdehid són o-tolualdehid, m-tolualdehid i p-tolualdehid. És difícil determinar simultàniament els tres isòmers en les seves barreges perquè les seves propietats químiques i físiques són molt similars. Actualment, no s'ha informat el mètode per a la determinació simultània de o-tolualdehid, m-tolualdehid i p-tolualdehid.

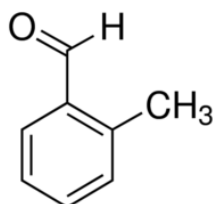


Figura 1.18: Estructura de l'o-tolualdehid.

A la taula 1.15 es mostren les propietats físiques de l'o-tolualdehid.

Taula 1.15.- Propietats físiques de l'o-tolualdehid.

Nº CAS	529-20-4
Pes molecular [g/mol]	120,1
Punt d'ebullició [°C]	200
Punt de fusió [°C]	-35
Densitat a 20°C [g/cm³]	1,037

1.2.3.8 Producte pesant

El producte pesant és un subproducte que es genera al reactor, del que no es coneix la composició, ja que a les patents consultades no es dona informació, només s'aporta la proporció a la que es troba a la sortida del reactor.

A la bibliografia consultada es parla del producte pesant com un compost de gran pes molecular, amb una temperatura d'ebullició superior a la del PA, motiu pel que sortirà per cues a la segona columna de destil·lació.

Amb aquesta informació es va decidir estimar les seves propietats per tal d'aproximar la informació aportada a les patents a la realitat.

Taula 1.16.- Propietats físiques del producte pesant.

Pes molecular [g/mol]	200
Punt d'ebullició [°C]	350
Densitat a 20°C [g/cm³]	865,2

1.2.4 Catalitzador O 4-28

El catalitzador utilitzat en la reacció per a la producció d'anhídrid ftàlic consisteix en el O 4-28 (V_2O_5 suportat en TiO_2) en partícules esfèriques d'uns 6 mm de diàmetre. Això permet que la reacció succeeixi de forma més ràpida i fa que el catalitzador tingui un paper important en la reacció.

El V_2O_5 és un catalitzador poderós i versàtil utilitzat àmpliament en els processos industrials. Els òxids metàl·lics suportats tenen avantatges com major resistència mecànica, millor estabilitat tèrmica i major àrea superficial. En general, són excel·lents catalitzadors utilitzats en la manufactura de químics importants i en la reducció de contaminants ambientals.

En la taula 1.17 es mostren les propietats físiques del catalitzador.

Taula 1.17.- Propietats físiques del catalitzador O 4-28.

Diàmetre esferes [mm]	6
Superfície específica [m²/m³]	600
Densitat [kg/m³]	1000
Porositat	0,4

1.2.5 Corrosió i materials

Els materials estan exposats contínuament a ambients d'interacció material-ambient que provoca la pèrdua o deteriorament de les propietats físiques del material.

La corrosió produïda per les substàncies del procés no és la única font de degradació dels equips. Agents externs com el clima, substàncies externes al procés, esforços mecànics i vibracions són factors que augmenten la velocitat de degradació d'un equip, per aquest motiu es prenen mesures per evitar els efectes.

Per evitar l'efecte del clima, tots els equips de fred estan aïllats per evitar la condensació d'aigua i la corrosió que implica. El propi aïllant també va protegit per una lona o alumini per a la seva conservació. Els equips que no sigui ni de fred ni calent que no requereixin aïllant estaran protegits per pintures anticorrosives que els protegirà de la corrosió externa.

Les vibracions poden augmentar la corrosió produïda per substàncies químiques. Per evitar-ho, tots els equips estaran correctament dissenyats per a que la circulació de fluids no els hi faci vibrar.

Els esforços mecànics també degraden els equips. En aquest cas es dissenyarà i es dimensionarà correctament els suports per evitar esforços tant pel propi pes de l'equip com els esforços de dilatacions tèrmiques.

Els mecanismes de deteriorament són diferents segons si es tracta de materials metàl·lics, ceràmics o polimèrics:

- Materials metàl·lics: el procés de deteriorament s'anomena oxidació i corrosió.
- Materials ceràmics: aquest procés ha d'estar sota condicions extremes perquè es produeixi un deteriorament notable, i es parlarà també, de corrosió.
- Materials polimèrics: el procés de deteriorament s'anomena degradació.

El secret per evitar aquesta corrosió en els materials metàl·lics és col·locar un recobriment que eviti el contacte del material amb el reactant o aplicar una força impulsora oposada amb la finalitat de reduir la velocitat del procés.

Així doncs, un factor important a la indústria química, és el manteniment i substitució dels equips com a conseqüència de la degradació i corrosió dels materials utilitzats, ja que encara que és possible minimitzar els efectes d'aquests, segueix sent impossible evitar per complet el seu deteriorament al llarg del temps. En els països industrialitzats, la corrosió correspon a un cost del 4% del PIB anual (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006) i la seva prevenció resulta vital per a l'economia. Per tant, cal conèixer les substàncies amb les que estarà en contacte el material i les seves condicions d'operació per tal de prevenir la seva corrosió.

Els materials disponibles en el sector industrial són molts i es distingeixen pel seu estat físic, (sòlid, líquid, gas), i la seva estructura (cristal·lina, amorfa). El disseny dels equips s'interessa pels materials sòlids els quals realitzen funcions estructurals, com suportar adequadament les tensions, funcions de guia, contenció de líquids, protecció o funcions estètiques.

A l'hora de seleccionar un material hi ha varis criteris que s'han d'aplicar, però hi ha dos criteris imprescindibles: compatibilitat i cost.

A continuació s'exposa una taula sobre la compatibilitat i ratio de corrosió d'alguns materials.

Taula 1.18.- Taula de compatibilitat. Metalls: A (excel·lent), B (bona), C (mala) i X (incompatible).

CHEMICAL	FORMULAS	APPROX. SP. GRAVITY @ 100% CONC.	PLASTIC										ELASTOMER				SEAL	METAL									
			PVC	CPVC	POLYPROPYLENE (PP)	POLYETHYLENE FLUORIDE (FEP)	POLYETHYLENE-CROSS LINKED (XLPE)	DURAPLUS ABS	RTON	HALAR	PEEK	TEFLON	EPDM	POLYSULFONE	VITON	EPDM	NEOPRENE	BUNA N (NITRILE)	CARBON	304 STAINLESS STEEL	316 STAINLESS STEEL	TITANIUM	HASTELLOY C				
Aluminum Chloride	ALCL ₃	-	-	-	140	170	170	140	140	140	176	200	250	-	210	-	200	-	180	210	200	A	A	C	-	-	-
Carbon tetrachloride	CCl ₄	-	1.6	X	X	X	X	140	X	X	X	-	250	-	350	150	-	-	190	X	X	X	A	A	C	A	A
Freon 11 (MF)	CCL ₃ F	-	1.22	72	72	73	250	-	-	-	200	121	-	250	-	-	-	180	X	200	180	-	-	A	A	-	
Freon 113 (TF)	CL ₃ CCF ₃	-	-	-	-	-	250	-	-	-	200	121	-	250	-	-	-	70	X	130	73	-	-	A	-	-	
Freon 114	C ₂ CL ₃ F ₄	-	-	-	-	-	250	-	-	-	200	121	-	250	-	-	-	100	X	130	100	-	-	A	-	-	
Freon 12	CL ₂ CF ₂	-	-	-	-	-	250	70	70	-	200	121	-	250	-	-	-	180	73	200	180	-	-	-	-	-	
Freon 12 (Wet)	CL ₂ CF ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hydrochloric Acid	HCL	10	-	140	180	180	250	250	140	140	176	X	-	400	150	200	-	200	150	80	X	-	-	-	X	-	
Hydrochloric Acid	HCL	20	-	140	180	180	250	140	140	176	X	-	400	120	200	-	200	100	80	180	-	-	X	-	-	-	
Hydrochloric Acid	HCL	25	-	140	180	180	250	140	140	104	X	-	400	X	150	-	200	100	X	X	-	-	-	X	-	-	
Hydrogen Fluoride	HF	-	-	X	X	73	200	-	-	-	-	-	-	250	-	-	-	180	X	X	X	-	-	X	-	-	

La compatibilitat es resumeix en si el material es corroeix o es degrada poc com per ser possible la seva utilització en els equips. El cost ve imposat pel mercat. A la figura 1.19 hi ha un exemple comparatiu del cost relatiu de canonades de diferents materials.

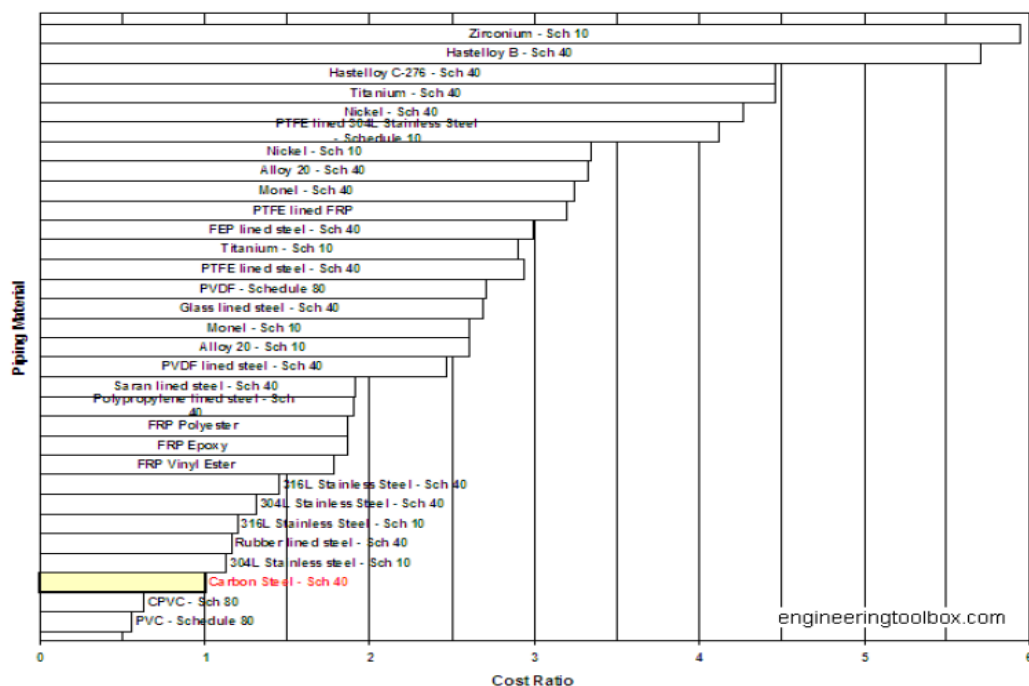


Figura 1.19: Cost relatiu de diferents tipus de canonades.

En la figura 1.19 es pot observar com el material de construcció afecta el cost d'un equip, que poden arribar a donar-se una diferència d'un ordre de magnitud. Per tant, s'ha de trobar un compromís entre compatibilitat i cost del material. Es podria donar el cas que una corrosió d'unes dècimes de mil·límetres a l'any sigui permissible si així s'evita utilitzar un material molt més car.

La planta està projectada per tenir un temps de vida útil però molts equips tenen un temps de vida menor que al de la pròpia planta fins i tot amb manteniment i altres que s'espera que tinguin un determinat temps de vida poden degradar aviat a causa d'un dèficit de manteniment. Si bé cada equip tindrà un manteniment específic, en regles generals el control de corrosió consisteix a mantenir la protecció exterior en bones condicions (pintures anticorrosives), revisar i reposar anualment equips en condicions altament corrosives que ja es preveu que s'hagin degradat amb l'ús i estudiar si hi ha punts on la corrosió és més gran del que s'havia previst.

1.2.5.1 Acer inoxidable 316L

Aquest tipus d'acer s'utilitza per equips o peces d'equips amb elevada demanda a la resistència a la corrosió localitzada, per equips de les indústries químiques, farmacèutiques, tèxtil i petroliera entre d'altres.

El 316L resisteix més la corrosió que no pas el 304L, per aquest motiu s'ha escollit fer gairebé tots els equips de la planta amb aquest material tot i que el preu del 304L és molt més econòmic.

1.2.5.2 Tefló (PTFE)

El tefló és un material inert i antiadherent i és molt resistent davant l'atac d'infininitat de productes químics com àcids i bases concentrades, al hidrocarburs i és insoluble davant de molts dissolvents orgànics. Té un ampli rang de variació de temperatures extremes, entre -240 i 260°C sense que s'alterin les seves propietats físiques. També presenta una alta resistència a la humitat, al pas del temps així com als rajos ultraviolats. Les propietats més destacables del polímer són:

- Baix coeficient de fricció < 0.1
- Material inert i antiadherent
- Punt de fusió mig de 342°C
- Posseeix excel·lents propietats dielèctriques i d'aïllament elèctric.

1.2.5.3 Llana de roca

La llana de roca està formada per una xarxa de fibres que atrapen cèl·lules d'aire sec i estable. Es compon d'un 98% de basalt i un 2% d'aglutinants. La seva estructura fina i complexa s'associa a unes propietats d'aïllants úniques i es tracta d'un producte natura i totalment reciclable.

- Comportament tèrmic: l'estructura de la llana conté aire sec i estable en el seu interior, fet que actua com a obstacle a la transferència de calor,

caracteritzant-se per la seva baixa conductivitat tèrmica i sent efectiva com a aïllant tant a temperatures baixes com altes.

- Comportament acústic: degut a la seva estructura multidireccional i elàstica provoca la disminució del moviment de les partícules d'aire i dissipa l'energia sonora.
- Comportament davant del foc: és un material no combustible, s'utilitza com a protecció passiva contra el foc en edificis i equips industrials degut a que conserva les seves propietats mecàniques intactes.

La llana de roca és un dels pocs productes industrials que permeten estalviar més energia, diòxid de carboni i contaminants atmosfèrics que els consumits i/o emesos durant la seva transformació.

1.2.5.4 Canonades

S'ha de tenir especial cura en l'elecció del material de construcció de les canonades ja que aquestes han d'assegurar una correcta arribada de les substàncies als equips. En una canonada que hi hagi corrosió pot suposar una disminució de l'absorció de la pressió per part del material fet que pot dur a un trencament, fuites o la despressurització de les mateixes i, per tant, dels equips.

1.3 DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ

1.3.1 Introducció

El procés per a l'obtenció de l'anhídrid ftàlic consisteix en una sola etapa diferenciada on el reactiu limitant, o-xilè és oxidat amb aire, obtenint l'anhídrid ftàlic i subproductes.

1.3.2 Selecció del procés

El procés d'obtenció de l'anhídrid ftàlic es pot fer a partir de dues rutes: la primera és emprant com a reactiu el naftalè i l'altre l'o-xilè. A les instal·lacions modernes s'utilitza l'o-xilè com a reactiu, ja que presenta una sèrie d'avantatges que el naftalè no té.

La primera de totes és que el nombre d'àtoms de carboni a l'inici i al final de la reacció, el producte és el mateix, és a dir, no requereix inicialment una degradació per oxidació com en l'obtenció de l'anhídrid ftàlic mitjançant naftalè. Això, no només redueix el consum d'oxigen en el procés, sinó que la calor originada en el procés és menor. Independentment d'aquestes diferències, moltes de les instal·lacions es construeixen de forma que, es puguin emprar tots dos reactius.

Els processos d'oxidació de l'o-xilè aplicats en l'actualitat, es poden classificar en dues tècniques:

- 1) Oxidació en fase gas sobre catalitzadors a base de V_2O_5 en un reactor de llit fix o fluïditzat.
- 2) Oxidació en fase líquida amb catalitzadors de sals metàl·liques dissoltes.

Els grans processos a escala industrial utilitzen preferentment l'oxidació en fase gasosa de l'o-xilè. Dos dels processos més estesos van ser desenvolupats per BASF i Chemische Fabrik von Heyden.

Per el procés de BASF es produïa, al 1978, unes 700.000 tones a l'any, i per el de von Heyden 1,1 milió de tones any, que representen el 45% de la capacitat de producció mundial.

En tots dos processos s'utilitza o-xilè amb una puresa de 95%, que s'oxida entre 375 i 410°C, amb excés d'aire sobre catalitzadors de V_2O_5 en reactors multitubulars d'aproximadament 10.000 tubs. El catalitzador de BASF consta d'una mescla de V_2O_5 i TiO_2 amb compostos promotors com els fosfats d'alumini i zirconi, distribuïts en forma de capa sobre una superfície llisa i poc porosa, com per exemple: boles de porcellana, quarts o carbur de silici.

Actualment, els reactors millorats i ampliats, tenen una producció anual de 40.000 a 50.000 tones d'anhídrid ftàlic per unitat. L'anhídrid ftàlic s'obté amb una selectivitat del 78%, i després d'una destil·lació de dos passos, s'assoleix amb una puresa de 99,8%. Com a subproductes de la reacció s'obté àcid o-toluic, ftàlida, àcid benzoic i anhídrid maleic, així com diòxid de carboni de l'oxidació total.

L'anhídrid maleic, s'aconsegueixen uns 5 kg per cada 100 kg d'anhídrid ftàlic, aquest és un subproducte valoritzat en el mercat que es pot comercialitzar posteriorment en la empresa.

Segons la millora tècnica, en el procés de Hyden s'emprenen reactors multitubulars amb una construcció especial, que utilitzen un bany de sals foses per la refrigeració del reactor, aquestes controlen exactament la temperatura de la unitat i amb això permet una major càrrega superior de l'aire amb o-xilè (60 g/m^3 front 44 g/m^3). El gran desenvolupament de calor, condueix a un gran estalvi energètic.

Altres processos que utilitzen un llit fix, han estat desenvolupat per Ftalital, Japan Gas, Pechiney-Saint-Gobain, Rhône-Progil, Ruhröl i Scientific Design.

La selectivitat dels catalitzadors, en el processos que utilitzen un reactor de llit fluïditzat, són pràcticament els mateixos que en els llits fixos. Però, el risc d'explosió en un llit fluïditzat és molt menor, ja que s'utilitza aire amb menys excés, per tant, una part de l'anhídrid ftàlic es pot separar en fase líquida per sobre de la temperatura de fusió.

Aquesta forma d'aïllament ofereix avantatges tecnològiques front a la separació en forma cristal·lina.

L'o-xilè es pot oxidar també en fase líquida amb aire, segons el perfeccionament de Rhône-Progil. S'empren acetats o naftalens solubles de cobalt, manganès o molibdè, amb catalitzadors on la gran majoria porten brom. Com a dissolvent s'afegeixen àcids carboxílics, principalment acètic. L'oxidació es realitza a uns 150°C. L'àcid ftàlic es separa en una dissolució d'acètic, i refredant s'obté sòlid, aquest es deshidrata a anhidrid, posteriorment es destil·la. La selectivitat que s'obté en aquest procediment es del 90%, l'empresa Rhône-Progil projecta una instal·lació amb capacitat de 15 000 tones l'any.

1.3.3 Diagrama de blocs

A continuació es presenta la figura, on es descriu breument el procés per a l'obtenció de l'anhidrid ftàlic:

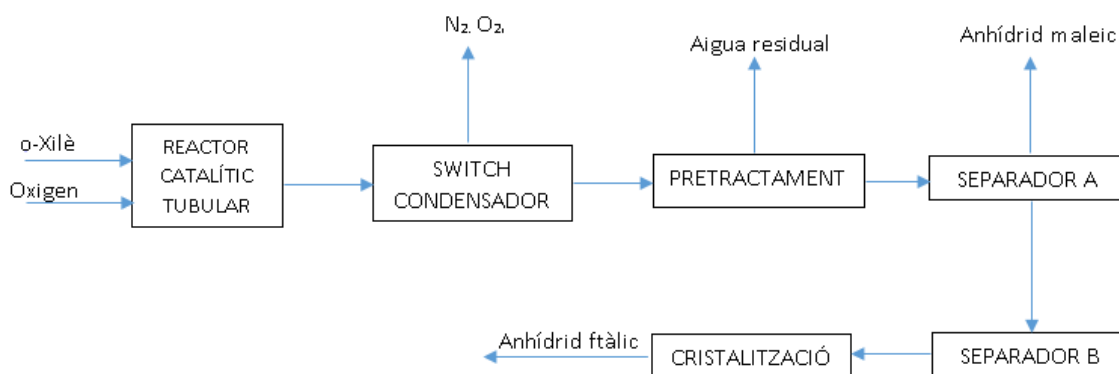


Figura 1.6: Diagrama de blocs del procés de producció d'anhidrid ftàlic.

A la figura 1.6 es mostra el procés de producció de l'anhidrid ftàlic, des de les matèries primeres, fins a l'obtenció del producte final. La principal etapa és la de reacció, és a dir, l'oxidació parcial de l'o-xilè.

El diagrama de blocs permet fer un anàlisi global del procés:

- El procés comença a l'etapa d'oxidació de l'o-xilè, on s'introdueixen al reactor les matèries primeres així com el catalitzador. Aquesta etapa consta d'un reactor multitubular catalític, on entra l'o-xilè i aire en fase gas, i es duu a terme la reacció catalítica.

- Tan els productes de la reacció, com els reactius que no han reaccionat a l'etapa anterior, s'introdueixen a la següent etapa, el *switch condenser*. Aquest fa una pre-separació dels productes i reactius més volàtils del procés (CO_2 i N_2).
- El corrent que surt del *switch condenser* és una mescla, on el component predominant és l'anhídrid ftàlic, i es dirigeix en la separació A, dos reactors de tipus tanc agitat en sèrie on es produeix una reacció de deshidratació, l'àcid ftàlic es converteix en anhídrid ftàlic i aigua. Aquesta separació, és un pretractament on s'elimina l'aigua produïda a la reacció.
- Després de deshidratar de la mescla, el corrent passa a la separació B. Aquesta separació consta d'una columna de separació tipus *stripping*, on el subproducte predominant que es recull per caps és l'anhídrid maleic, i per cues el producte desitjat amb una mescla de subproductes.
- Per afinar el producte, el corrent de sortida de la separació B va cap a la separació C. Aquesta separació, consta també d'una columna de rectificació, on s'aconsegueix que l'anhídrid ftàlic surti amb una puresa del 99.8%.

1.3.4 Diagrama del procés

A continuació es presenta la figura del diagrama del procés:

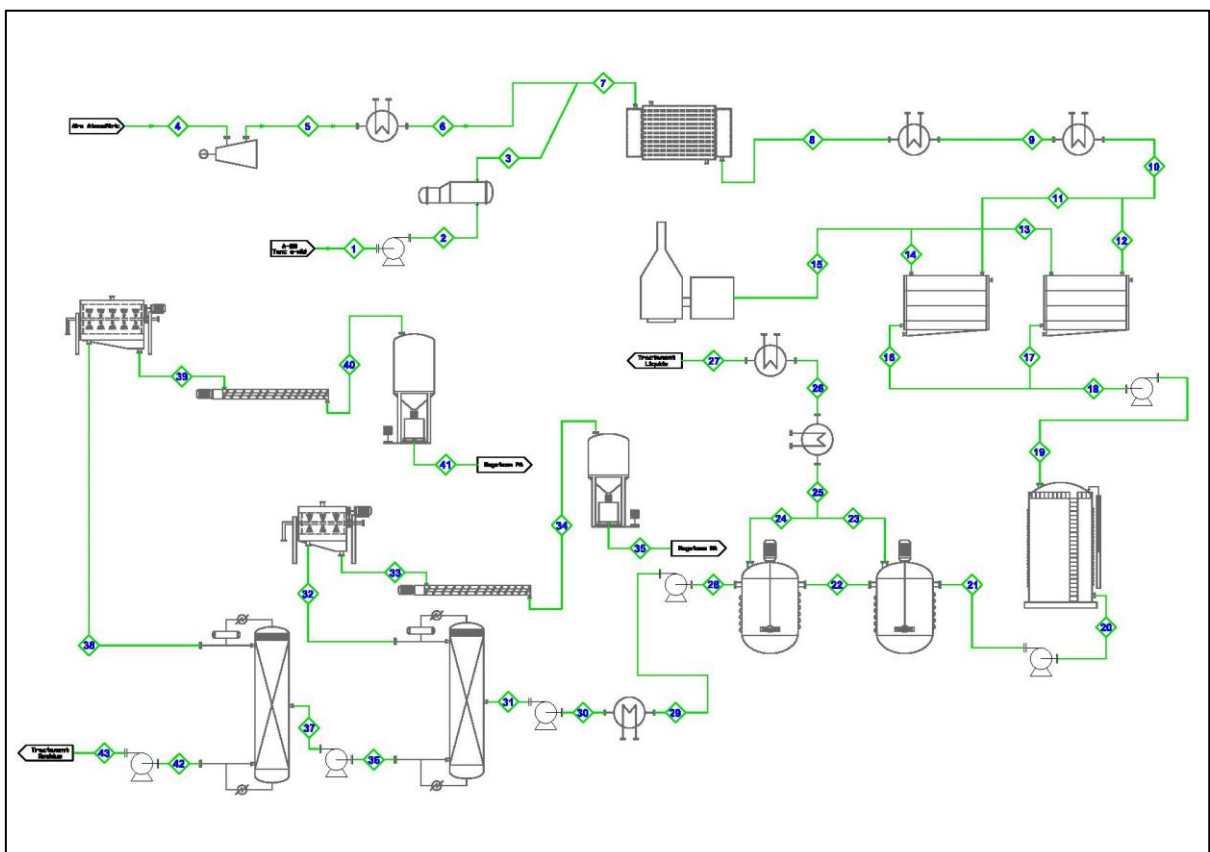


Figura 1.7: Diagrama de procés per a la producció d'anhídrid ftàlic.

REACCIÓ D'OXIDACIÓ

El procés d'obtenció de l'anhídrid ftàlic, comença per la introducció dels dos reactius, l'o-xilè i l'oxigen. L'oxigen s'aconsegueix a partir de l'aire.

En un primer canal, s'introdueix l'o-xilè en estat líquid on es bombeja (P-0201) fins al bescanviador de calor (RB-0201), s'aconsegueix elevar la temperatura del corrent per poder ser introduït en el reactor, l'o-xilè del corrent de sortida del bescanviador es troba en fase gasosa. En un segon canal, i simultàniament, hi ha la captació de l'aire de l'exterior, el qual passa per un filtre on s'eliminen les partícules sòlides que poden haver-hi en suspensió, seguidament s'introdueix en un compressor (C-0201), on es comprimeix fins a 3 atm, per poder introduir-lo fins la fase de reacció, prèviament l'aire s'escalfa en un bescanviador (E-0201).

Seguidament, tots dos corrents, ja prèviament escalfats per separat i a una temperatura d'aproximadament d'uns 250°C, s'uneixen en una sola canonada i s'introdueixen al reactor (R-0201).

Una vegada s'introdueix el corrent amb la mescla dels dos reactius, es produeix la reacció d'oxidació mitjançant el catalitzador V_2O_5/TiO_2 . El model de reactor per aquesta reacció, és un reactor de flux pistó, on en el seu interior consta d'uns 10550 tubs envoltats per una carcassa. Dins dels tubs, hi trobem un llit empaquetat amb el catalitzador, V_2O_5/TiO_2 , i per tant, es produeix la reacció d'oxidació. El reactor opera a 360°C i 3 atm de pressió. Per mantenir la temperatura del reactor, que opera isotèrmicament, hi ha un refrigerant que hi circula per carcassa. El refrigerant utilitzat per treballar a temperatures altes és una mescla de dues sals: nitrat de sodi ($NaNO_3$) i nitrat potàssic (KNO_3), que rep el nom de *Molten Salt*, cadascuna es troba en diferents percentatges. Durant la reacció, es forma l'anhídrid ftàlic, el producte clau però, a més a més, diversos subproductes (CO_2 , H_2O , anhídrid maleic i producte pesant) i els reactius que no han reaccionat (o-xilè, N_2 i O_2). A les posteriors etapes aquests compostos s'hauran de separar per obtenir la puresa desitjada.

SWITCH CONDENSER

El corrent de sortida del reactor, que conté una mescla de components que circulen a uns 360°C, passa per dos bescanviadors de calor (E-0202 i E-0203) on la temperatura del fluid es redueix fins als 160°C aproximadament, a mesura que la temperatura va disminuint, l'anhídrid ftàlic reacciona amb l'aigua formant àcid ftàlic. Una vegada la mescla entra *switch condenser* s'acaba de liquar.

El disseny del *switch condenser* (SC-0201) s'ha assimilat com quatre bescanviadors, en el qual hi ha un corrent principal d'entrada en cadascun dels bescanviadors. La mescla, procedent del reactor, circula d'una unitat a l'altre, passant per tots quatre bescanviadors.

Els corrents secundaris en el *switch* pertanyen al procés de refrigeració tancat del sistema. Aquest procés funciona de la següent manera: el corrent de refrigerant que s'introdueix en el primer bescanviador, a la sortida d'aquest es divideix en dos corrents, on el primer d'ells passa al següent bescanviador i el segon es destina a un tanc pulmó que manté la temperatura de l'oli tèrmic. Així successivament a tots quatre, per tant, els quatre corrents de sortida secundaris de refrigerant s'uneixen per ser enviats al tanc pulmó.

En aquesta línia s'aconsegueix separar, l'o-xilè, el nitrogen, l'oxigen i una quantitat mínima d'aigua, de la barreja principal (PA, anhídrid maleic, aigua, àcid ftàlic i producte pesant). El corrent de sortida del *switch* s'introdueix en un tanc (TP-0301).

DECOMPOSER

La mescla emmagatzemada en el tanc (TP-0301), es bombeja (P-0301) per ser introduït en la següent unitat d'operació, el *decomposer* (DP-0301). Aquesta unitat és un reactor continu tipus tanc agitat, que treballa a una temperatura de 200°C, on la principal funció és convertir l'àcid ftàlic que s'ha produït al llarg del procés, mitjançant una reacció de deshidratació en anhídrid ftàlic. També, fa la funció de separador, ja que ens permet eliminar gran part de l'aigua que hi ha a la mescla.

Per tant, el corrent de sortida principal del *decomposer* hi haurà anhídrid ftàlic, anhídrid maleic, producte pesant i una petita quantitat d'àcid ftàlic. I el corrent secundari, hi circularà aigua amb un alt contingut de càrrega orgànica.

SEPARACIÓ A

Després de fer el tractament de descomposició, el corrent principal es bombeja (P-0303) fins a la següent unitat, s'introdueix en la primera columna (C-0301) la qual opera al buit i una temperatura de 150°C. La separació que fa l'equip és mitjançant vapor que arrossega el component menys volàtil, llavors per caps s'obté l'anhídrid maleic amb traces dels altres compostos de la mescla, i per cues s'obté PA i compostos pesants.

SEPARACIÓ B

El corrent que surt per cues de la columna (C-0301), es bombeja (P-0305) fins a la segona columna (C-0302), la qual opera al buit i a 255°C. Aquesta consta de 29 plats, perquè hi hagi una bona interacció entre el vapor-líquid, i que la separació dels components sigui més efectiva. El corrent que surt per caps és el producte, l'anhídrid ftàlic amb una puresa del 99.9% i en fase líquida amb una temperatura de 197°C. L'altre corrent de cues s'obté una mescla de compostos pesants que s'han format al llarg del procés mitjançant polimeritzacions, etc.

El producte final, es bombeja (P-0306) a la zona d'emmagatzematge.

1.4 CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA

1.4.1 Descripció qualitativa de la planta

La planta de producció d'anhídrid ftàlic està projectada sobre una parcel·la de 53.235 m². La distribució de la planta comprendrà tant els elements de la instal·lació com el lloc del treballadors. S'ha de tenir en compte els espais necessaris pels moviments de material, emmagatzematge, administració, equips, línies de producció, etc.

La ubicació de les diferents àrees i zones de planta s'ha dissenyat per obtenir un ordre de les àrees i dels equips que minimitzin les despeses que es deriven d'una mala gestió de l'espai i al mateix temps que sigui més segura pels treballadors de la planta.

Els avantatges que aporta una bona distribució es veuen reflectits en una reducció de costos de fabricació, de les malalties, dels accidents laborals, del material del procés, dels possibles impactes ambientals i en un increment de la productivitat.

1.4.2 Distribució per àrees

En aquest apartat s'especifiquen les àrees que conformen la planta, la distribució de les mateixes i una breu explicació de cada zona. La planta de producció està dividida per dotze àrees, dos dedicades a l'emmagatzematge de matèries primeres i productes acabats, tres per a la síntesis dels productes, un per tractar els possibles residus de la planta, un altre amb els laboratoris i la sala de control, tres auxiliars per als serveis, seguretat, bassa contra incendis i una última on seràn les oficines i les diverses zones per al personal contractat. En la figura 1.8 s'esquematitza la projecció de les àrees en la parcel·la.

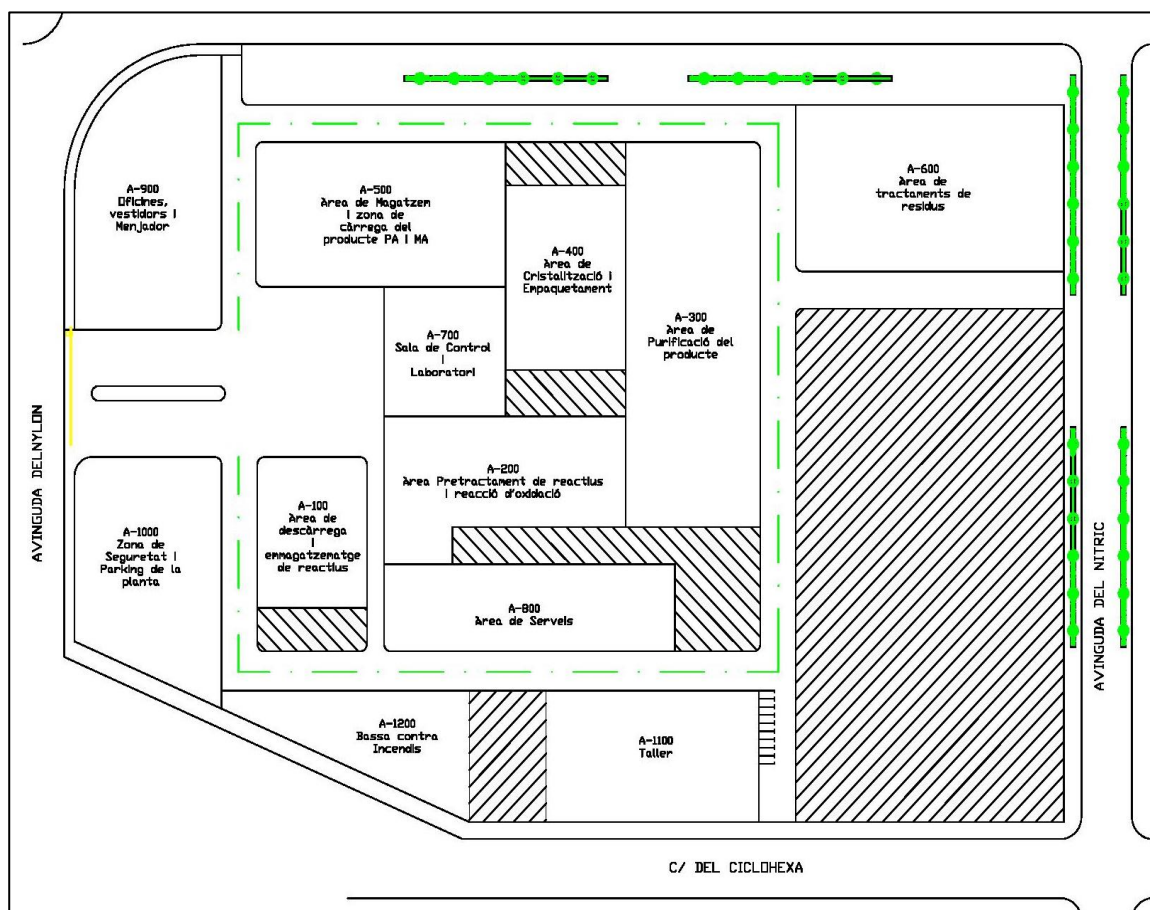


Figura 1.8: Distribució per àrees de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

1.4.2.1 Àrea 100: Emmagatzematge de matèries primeres

En aquesta àrea s'emmagatzema el reactiu o-xilè en forma líquida a 25°C en 4 tancs. Els tancs s'han dissenyat per tal d'emmagatzemar reactiu suficient per 3 dies de producció. Els tancs hauran d'estar inertitzats amb nitrogen per evitar risc d'explosió i contaminació ja que aquest producte està classificat com a B1.

Les boques de càrrega i descàrrega dels tancs d'emmagatzematge estan situades per a que els camions descarreguin reactiu. A més a més està equipada amb balances situades al terra per a poder carregar i descarregar els camions.

Per raons de seguretat, el més adient es situar-la propera a alguna entrada i sortida de la planta. Per aquest motiu aquesta àrea es troba a l'entrada amb l'objectiu de fer-la accessible per a camions cisternes durant les operacions de càrrega i descàrrega de les matèries primeres i alhora es troba en una zona prou aïllada per minimitzar els possibles riscos derivats d'una mala gestió per part del personal no qualificat.

1.4.2.2 Àrea 200: Pretractament de reactius, reacció d'oxidació i SC

En aquesta zona de la planta és on té lloc la reacció d'oxidació de l'o-xilè donant com a productes principals anhidrid ftàlic i aigua. Aquesta reacció vindrà acompanyada d'un catalitzador.

També s'inclou el *switch condenser* on s'eliminen els gasos produïts durant l'etapa del reactor.

A més a més, està equipada amb els equips que condicionen l'entrada i sortida dels compostos, com poden ser bombes, bescanviadors i vàlvules.

1.4.2.3 Àrea 300: Purificació del producte final

En aquesta àrea hi ha un tanc pulmó per emmagatzemar el corrent de sortida del *switch condenser*. També es fa un pretractament del corrent de sortida del *switch condenser* per acabar d'eliminar les traces indesitjades per a que després arribi a la zona de purificació de l'anhidrid ftàlic. Es tracta de dos *decomposer*, on la seva funció és deshidratar i convertir l'àcid ftàlic en anhidrid ftàlic.

Es vol obtenir anhidrid ftàlic amb una elevada puresa, concretament un 99,8%, en aquesta zona el corrent que entra conté principalment anhidrid ftàlic, producte pesant i traces d'àcid ftàlic i anhidrid maleic que es separaran per les dues columnes.

1.4.2.4 Àrea 400: Solidificació del producte i subproducte

En aquesta àrea es troben dos escamadores, que solidificaran tant l'anhidrid ftàlic com l'anhidrid maleic, respectivament. Una vegada el PA i el MA es troben en escames, es transporta mitjançant dos cargols sense fi i s'ensaquen als *big bags* corresponents de manera automatitzada, a partir de dos ensacadores amb tolva incorporada.

1.4.2.5 Àrea 500: Emmagatzematge del producte final i MA

Tant l'anhidrid ftàlic com l'anhidrid maleic es comercialitzen en escames a *big bags*. Aquesta forma d'emmagatzematge és un dels sistemes més econòmics i eficaços per emmagatzemar i transportar mercaderies ja suposa:

- Optimitzar el temps de càrrega i descarrega i l'espai d'emmagatzematge.
- Transport racional i gran capacitat de maniobra a àrees reduïdes.
- Adaptables a diferents necessitats.
- Amb la seva personalització, suposen un efectiu medi publicitari.

Disposen dels següents certificats:

- ISO 22000
- 10/2011/EC
- 2023/2006/EC
- 94/62/EC
- 1895/2005/EC
- ADR/RID/IMDG code
- 2009/148/EC

S'ha escollit el model *FORMA 6* de l'empresa Satucesa Europa S.L. Aquest model consta de quatre punts d'elevació. Les cintes d'elevació estan cosides a cadascuna de les costures del cos principal. Permet mantenir la forma quadrada quan s'omple gracies als seus panells interiors. Aquesta forma regular, sense redondeig dels laterals estalvia aproximadament un 20% d'espai a l'hora d'emmagatzemar o carregar en contenidors. El sistema millora també la estabilitat del *big bag* omplert.

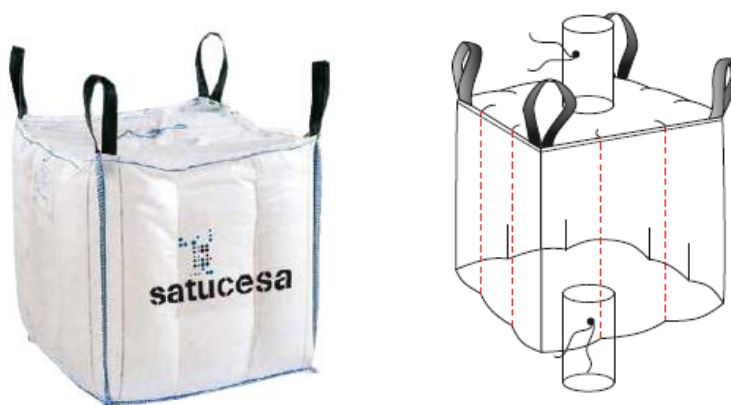


Figura 1.9: Big bag model *FORMA 6*.

Els *big bags* que s'escullen consta de teixit antiestàtic, costura hermètica L-6 (boques perforades i cosides al cos del *big bag*), bossa especial interior per evitar la humitat, portadocuments i porta imprès el logotip de l'empresa. La seva càrrega serà de 1.000 kg. Les seves dimensions 105 cm x 105 cm.

Test superats:

- Standard "EN 1989:2001".
 - EFIBCA 005 – Single trip (s.t.: 5 a 1)
 - EFIBCA 004 – Standard duty (S.F.: 6 A 1)
 - EFIBCA 003 – Heavy duty (S.F.: 8 a 1)
- Normativa U.N. pel transport de Matèries Perilloses.
- Test conductivitat, Tipus B, C i D.
- Qualitat alimentària i farmàcia.

1.4.2.6 Àrea 600: Tractament de residus

En aquesta zona és on van a parar tots els residus generats al llarg del procés, és a dir, residus tant sòlids, líquids o gasosos. Per tal de no infringir la llei, cal tractar els corrents residuals del procés amb una sèrie d'equips amb el tractament necessari en cada cas. Altres opcions són vendre el subproducte anhídrid maleic a una empresa externa o pagar a un gestor de residu que s'ocupi d'ells per tal de no tractar-los en la planta.

1.4.2.7 Àrea 700: Laboratoris / sala de control

A l'àrea de laboratoris és on s'analitzen diferents mostres de diferents punts del procés per realitzar un control de qualitat i assegurar que el procés es duu a terme dins dels paràmetres establerts. També inclou el departament de I+D on s'intenta evolucionar per ser una empresa puntera.

En la sala de control s'observen els diferents paràmetres de tota la planta de forma monitoritzada a més a més es pot canviar les variables controlades del procés.

1.4.2.8 Àrea 800: Serveis de planta

Aquesta zona es on s'agrupen els diferents serveis que necessita la planta per tal d'assegurar les condicions del procés i controlar alguns aspectes de les operacions. A partir d'aquesta àrea són canalitzats els serveis de fluids i energies cap als punts d'ús en la planta. Està compost per una caldera de vapor, tres calderes d'oli tèrmic, un sistema de compressió d'aire, una estació transformadora, un equip de descalcificador de l'aigua i un dipòsit de nitrogen per mantenir la pressió al llarg de tot el procés.

1.4.2.9 Àrea 900: Oficines / menjador / vestuaris

En aquesta àrea inclou la recepció, oficines, sales de reunions, despatxos, menjadors i vestuaris a disposició de tot el personal de treball de la planta.

1.4.2.10 Àrea 1000: Àrea d'accés

En aquesta zona inclou el pàrquing per a què hi puguin estacionar tots els vehicles de tots els treballadors que treballen a la planta. També s'ha habilitat dues places per a minusvàlids complint la normativa vigent que obliga a reservar algunes places d'aparcament per la gent que té mobilitat reduïda.

1.4.2.11 Àrea 1100: Taller

El taller de manteniment dels equips és on els tècnics de manteniment podran reparar qualsevol equip o accessori que es pugui espatllar sense subcontractar a una empresa externa.

1.4.2.12 Àrea 1200: Bassa contra incendis

En aquesta àrea es pot trobar tot el que sigui necessari per actuar de forma ràpida i eficaç en cas de que es produeixi un incendi a la planta.

1.4.3 Planificació temporal i plantilla de treballadors

La planta de producció d'anhídrid ftàlic treballa en continu les 24 hores del dia durant 300 dies al any, és a dir, un total de 7.200 hores a l'any. Exceptuant la posada en marxa i les parades tècniques, que solen ser programades de forma que no afecti tot el procés de producció.

Les parades tècniques que es produeixen per realitzar tasques de manteniment són molt habituals a la indústria química. Aquestes parades poden ser programades (dins el cicle de manteniment productiu) o no programades (davant la detecció d'errors), essent aquests, els factors que determinaran la periodicitat i durada de la planta.

Degut a la gran varietat de situacions de risc que poden sorgir i a que és necessària saber actuar davant d'aquestes situacions, es requereix de personal amb un alt nivell de coneixement i especialització en la matèria.

Els treballadors estan dividits en diversos grups per cobrir les àrees de producció, manteniment, serveis, investigació i laboratori i administració. Aquests grups són:

- Directius i tècnics: s'encarreguen de la planificació, gestió, direcció, coordinació i control de les activitats pròpies al desenvolupament de l'empresa. Assumeixen la responsabilitat d'obtenir els objectius planificats i de les decisions que es prenen.
- Cap de secció: la funció que fa és integrar, coordinar i supervisar les tasques en les diverses seccions de la planta.
- Personal de manteniment: s'encarreguen del bon funcionament de la planta.
- Personal de laboratori: s'encarreguen del control de qualitat i I+D, d'analitzar les mostres que es prenen i comprovar que tot segueix un correcte funcionament.
- Operaris de planta: estan a peu de la planta i s'encarreguen del funcionament de la planta.
- Personal d'oficina: inclou els departaments de màrqueting, recursos humans, comptabilitat, informàtica i comercial.

- Personal extern: inclou el personal de neteja i manteniment d'equips especials.
- Personal de seguretat: s'encarreguen de la seguretat de la planta durant les 24 hores del dia.

1.5 ESPECIFICACIONS I NECESSITATS DE SERVEIS

1.5.1 Necessitats de serveis a la planta

Els serveis requerits per la planta poden ser continus com l'electricitat, els fluids refrigerants i calefactores o en discontinu quan el procés ho requereixi.

Els serveis representen la major despesa del costos d'operació de la planta i són imprescindibles per tal de garantir un subministrament continu, de qualitat i fiable.

Els serveis es poden classificar en dos grups: fluids (aigües, nitrogen i aire) i energies (gas natural i electricitat).

1.5.1.1 Aigua de xarxa

L'aigua de xarxa s'utilitzarà per satisfer les necessitats sanitàries de les oficines, dutxes, neteja, lavabos, etc. L'aigua es conduirà mitjançant una xarxa principal pels diferents conductes que arribarà a les àrees on sigui necessària. Es disposa d'una connexió a l'exterior de 200 mm de diàmetre a una pressió de 4 kg/cm². El servei únicament requerirà una xarxa de canonades de distribució adequada, sense aïllar, i les vàlvules de regulació que siguin necessàries. Les bombes no seran necessàries ja que l'aigua ve a una pressió adequada per a les necessitats d'aquest servei.

1.5.1.2 Aigua descalcificada

L'aigua que s'utilitza al procés s'haurà de tractar amb descalcificadors per tal d'eliminar la calç i el magnesi que poden danyar els equips.

La duresa de l'aigua d'alimentació de les calderes per generar vapor s'elimina fàcilment mitjançant l'ús de descalcificadors. Aquests són recipients carregats de reïnes d'intercanvi iònic, que al ser travessades per l'aigua amb sals dissoltes de carbonat càlcic, capten l'ió calci que arrossega l'aigua i cedeixen l'ió sodi que emmagatzemen les reïnes. El procés continua fins que la major part dels ions sodi de la resina s'han intercanviat i la resina no és capaç de retenir els ions calci i magnesi, llavors cal regenerar la resina.



Figura 1.10: Esquema representatiu d'un descalcificador.

1.5.1.3 Aigua contra incendis

En la planta es disposa d'aigua de xarxa com a mesura de seguretat contra incendis. Tots els equips d'extinció que ho requereixen tindran connexió directa d'aigua excepte els hidrants que es subministren a partir de les connexions subterrànies amb el cabal i pressió necessària en cas d'incendi.

En essència, el servei requereix una bassa d'aigua com a reserva per a abastir la gran demanda d'aigua que es produiria en cas d'incendi. A més és necessària una estació de bombament per subministrar aigua a pressió als elements antiincendis. Aquesta estació de bombament ha de ser fiable, per tant, l'equip requerit està dissenyat per a tal efecte, com per exemple un sistema doble de bombes o un control de resposta ràpida. La opció comercial escollida per el bombeig es pot veure en la figura 1.11 i a la taula 1.18, les característiques principals de l'equip.

Taula 1.18.- Característiques principals de l'estació de bombeig.

Proveïdor	KAIYUAN
Model	XDB5.7 / 2.5-100DL
Pressió d'operació màxima [MPa]	5,7
Caudal d'operació màxima [L/s]	25
Combustible	Electricitat
Rang de potència del motor [kW]	1,5 - 200



Figura 1.11: Estació de bombeig model XDB5.7 / 2.5-100DL.

1.5.1.4 Oli tèrmic

L'oli tèrmic és necessari per abastar els equips que necessiten escalfar per sobre de les possibilitats del vapor de les calderes. Les necessitats de calor de la planta es satisfan amb calderes de fluid tèrmic, les quals s'escalfen l'oli tèrmic, per a aquesta planta es disposa de *Therminol 59* i *Therminol VP1* degut al seu ampli rang de temperatures que permet cobrir millor les necessitats del procés. En cas de fugues, el contacte de l'oli amb el corrent de procés no tindria major conseqüències que la contaminació del producte.

L'oli tèrmic calent s'aconsegueix amb una caldera de fluid tèrmic, que es basa en cremar un combustible i posar en contacte els gasos de combustió amb un serpentí per on circula l'oli tèrmic. A diferència d'una caldera de vapor, una caldera de fluid tèrmic treballa a baixa pressió i sense canvi de fase. Degut a la disponibilitat del servei de gas natural, la caldera funcionarà amb aquest combustible que a més a més és menys contaminant que altres opcions com el carbó o el gasoil.

Les calderes d'oli tèrmic són bescanviadors tipus serpentí de múltiples passos amb un funcionament d'alta eficiència. El fluid tèrmic circula en un serpentí escalfat per la flama del cremador i això produeix els gasos de combustió.



Figura 1.12: Caldera d'oli tèrmic.

1.5.1.5 Nitrogen

El nitrogen s'encarrega d'abastir amb gas inert pressuritzat a tots els sistemes de control de pressió de procés.

Quan s'emmagatzema substàncies volàtils o substàncies propenses a l'oxidació, la conservació del producte i la seguretat són factors claus. La inertització amb nitrogen és un mètode segur i fiable per mantenir constantment una capa protectora de gas per sobre de la substància. També s'utilitza per desplaçar l'aire dins del sistema durant la posada en marxa, per així eliminar la humitat.

La humitat de l'espai superior queda substituïda per nitrogen d'elevada puresa, inert i completament sec. Un sistema precís de control de la vàlvula garanteix que quan el dipòsit s'ompli o buidi, el contingut de nitrogen es compensarà automàticament per a mantenir la capa protectora.

1.5.1.6 Aire comprimit

El servei d'aire comprimit s'encarrega d'abastir amb aire a pressió a totes les vàlvules pneumàtiques de control. Per a poder accionar aquestes vàlvules sense problemes és necessari aire comprimit a una pressió de 8 bar, per tant, cal disposar d'un bon compressor. A més, cal la instal·lació d'un filtre d'aire per tal d'evitar partícules sòlides en suspensió dins les canonades i la xarxa de distribució a les diferents zones de la planta.



Figura 1.13: Compressor d'aire comprimit.

A la taula 1.19 es detalla el model del compressor escollit que s'adapta millor a les necessitats de la planta.

Taula 1.19.- Característiques principals del compressor d'aire.

Proveïdor	PUSKA
Model	RTB 25/8 G2
Pressió d'operació [bar]	8
Potència [kW]	18,5
Cabal d'aire [L/min]	2910
Soroll [dB]	66
Llargada / amplada / alçada [mm]	780 / 1330 / 1220
Pes [kg]	414

Un altre dels elements que compona el sistema d'aire comprimit de la planta és el dipòsit d'aire comprimit, el qual permet cobrir els pics de demanda d'aire superior al cabal dels compressors. En la taula 1.20 es detalla les característiques del dipòsit escollit.

Taula 1.20.- Característiques principals del dipòsit d'aire.

Proveïdor	PUSKA
Model	DV-200 / 11 + KIT
Pressió d'operació [bar]	8
Llargada / alçada [mm]	1570 / 51
Pes [kg]	51

1.5.1.7 Electricitat

El servei d'electricitat es classifica com una energia i s'encarrega d'abastir a tots els equips que ho requereixen. Es disposa d'una connexió de 20 KV a peu de parcel·la amb una estació transformadora que redueix la tensió fins a 380 o 220V ja que els equips requereixen una tensió molt més baixa per no espatllar-se.

En cas d'emergència, per si hi hagués una fallada amb l'aportació d'energia a la planta (ja sigui per problemes de la empresa externa que proporciona l'electricitat a la planta, o per incidents que hagin sorgit dins la mateixa), és necessària la instal·lació d'un grup electrogen que aporti energia mitjançant un combustible que serà gas natural.

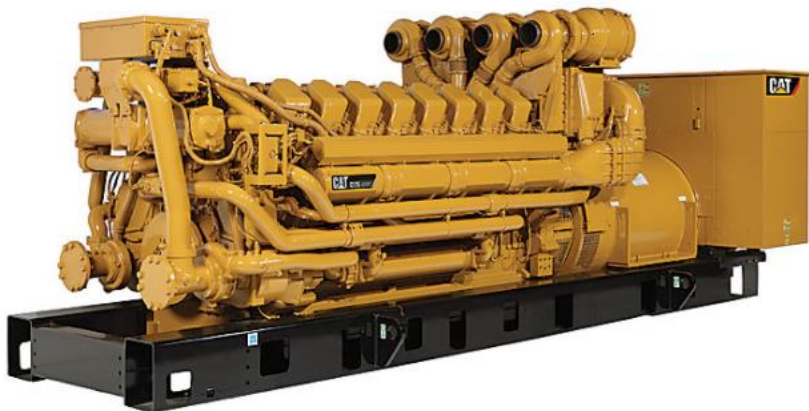


Figura 1.14: Generador d'energia elèctrica.

1.5.1.8 Gas natural

El principal component del gas natural és metà (90% de la seva composició) mentre que la resta està format per età, butà, pentà, anhídrid carbònic i nitrogen.

El servei de gas natural es classifica com una energia i s'utilitza per abastir la caldera d'oli tèrmic. Es disposa de gas natural a mitja pressió 1,5 kg/cm².

El servei es requereix en la seva totalitat per tres serveis: la caldera de vapor d'aigua, el grup electrogen i l'aigua sanitària de l'edifici d'oficines.

Aquest servei es considerat una font d'energia fòssil formada per una mescla d'hidrocarburs que es poden consumir directament sense necessitat d'aplicar cap tipus de transformació, a més a més, és el que proporciona una energia de la forma més neta possible i amb menor nombre de residus i/o d'emissions.

1.5.1.9 Vapor d'aigua

El vapor d'aigua es genera en calderes i es utilitza com a font de calor en diferents zones de la planta. És un fluid de calefacció econòmic en comparació amb altres fluids tèrmics, ja que subministra una alta quantitat de calor per kg de vapor de servei a una temperatura constant.

1.6 BALANÇ DE MATÈRIA

El balanç de matèria és la comptabilitat d'entrades i sortides del procés, el qual és important pel bon disseny de la mida els equips que es fan servir i per calcular el seu corresponent cost.

L'aplicació del balanç de matèria es basa en la llei de conservació de la massa. Es tracta d'un procés que treballa en continu, per tant, no hi haurà acumulació de matèria.

A les taules **X** es detallen la informació de cada corrent.

Taula 1.21.- Balanç de matèria de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

CORRENT	1	2	3	4	5
fracció vapor	0	0	1	1	1
temperatura [°C]	25,00	25,18	250	25,00	45,31
pressió [kPa]	101,3	304	304	101,3	304
cabal molar [kmol/h]	70,64	70,64	70,64	4549	4549
cabal màssic [kg/h]	7500	7500	7500	$1,31 \cdot 10^5$	$1,31 \cdot 10^5$
cabal volumètric [m³/h]	8,541	8,543	1011	$1,19 \cdot 10^5$	$5,88 \cdot 10^4$
densitat [kg/m³]	878,1	877,9	7,420	1,104	2,229

COMPOSICIONS MOLARS					
oxigen	0	0	0	0,21	0,21
nitrogen	0	0	0	0,79	0,79
anhídrid maleic	0	0	0	0	0
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0	0	0	0	0
o-xilè	1	1	1	0	0
anhídrid ftàlic	0	0	0	0	0
ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0	0	0	0	0
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0	0	0	0	0

COMPOSICIONS MÀSSIQUES					
oxigen	0	0	0	0,2329	0,2329
nitrogen	0	0	0	0,7671	0,7671
anhídrid maleic	0	0	0	0	0
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0	0	0	0	0
o-xilè	1	1	1	0	0
anhídrid ftàlic	0	0	0	0	0
ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0	0	0	0	0
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0	0	0	0	0

Taula 1.22.- Balanç de matèria de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

CORRENT	6	7	8	9	10
fracció vapor	1	1	1	1	1
temperatura [°C]	250	250	359,2	260	160,2
pressió [kPa]	304	304	229	220	210
cabal molar [kmol/h]	4549	4620	4620	4620	4620
cabal màssic [kg/h]	$1,31 \cdot 10^5$	$1,39 \cdot 10^5$	$1,39 \cdot 10^5$	$1,39 \cdot 10^5$	$1,39 \cdot 10^5$
cabal volumètric [m³/h]	$6,51 \cdot 10^4$	$6,61 \cdot 10^4$	$1,07 \cdot 10^5$	$9,37 \cdot 10^4$	$7,98 \cdot 10^4$
densitat [kg/m³]	2,016	2,099	1,298	1,481	1,740

COMPOSICIONS MOLARS					
oxigen	0,21	0,2068	0,0937	0,0937	0,0936
nitrogen	0,79	0,7779	0,7662	0,7660	0,7659
anhídrid maleic	0	0	0,0019	0,0019	0,0019
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0	0	0,0624	0,0624	0,0624
o-xilè	0	0,0153	0	0	0
anhídrid ftàlic	0	0	0,0064	0,0064	0,0064
ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0	0	0,0002	0,0002	0,0002
diòxid de carboni	0	0	0,0692	0,0692	0,0692
àcid ftàlic	0	0	0	0,0002	0,0004

COMPOSICIONS MÀSSIQUES					
oxigen	0,2329	0,2203	0,1006	0,1005	0,1003
nitrogen	0,7671	0,7256	0,7202	0,7194	0,7185
anhídrid maleic	0	0	0,0064	0,0064	0,0064
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0	0	0,0377	0,0377	0,0376
o-xilè	0	0,0541	0,0001	0,0001	0,0001
anhídrid ftàlic	0	0	0,0316	0,0316	0,0316
ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0	0	0,0011	0,0011	0,0011
diòxid de carboni	0	0	0,1023	0,1021	0,102
àcid ftàlic	0	0	0	0,0011	0,0024

Taula 1.23.- Balanç de matèria de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

CORRENT	11	12	13	14	15
fracció vapor	1	1	1	1	1
temperatura [°C]	160,2	160,2	70,07	70,07	70,07
pressió [kPa]	210	210	103	103	103
cabal molar [kmol/h]	4620	4620	4581	4581	4581
cabal màssic [kg/h]	$1,39 \cdot 10^5$	$1,39 \cdot 10^5$	$1,34 \cdot 10^5$	$1,34 \cdot 10^5$	$1,34 \cdot 10^5$
cabal volumètric [m³/h]	$7,98 \cdot 10^4$	$7,98 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^5$	$1,25 \cdot 10^5$	$1,25 \cdot 10^5$
densitat [kg/m³]	1,740	1,740	1,067	1,067	1,067

COMPOSICIONS MOLARS					
oxigen	0,0936	0,0936	0,0944	0,0944	0,0944
nitrogen	0,7659	0,7659	0,7723	0,7723	0,7723
anhídrid maleic	0,0019	0,0019	0,0009	0,0009	0,0009
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0,0624	0,0624	0,0621	0,0621	0,0621

o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0,0064	0,0064	0,0002	0,0002	0,0002
ftàlica	0	0	0	0	0
heavy	0,0002	0,0002	0	0	0
diòxid de carboni	0,0692	0,0692	0,0698	0,0698	0,0698
àcid ftàlic	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003

COMPOSICIONS MÀSSIQUES					
oxigen	0,1003	0,1003	0,1041	0,1041	0,1041
nitrogen	0,7185	0,7185	0,7458	0,7458	0,7458
anhídrid maleic	0,0064	0,0064	0,003	0,003	0,003
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0,0376	0,0376	0,0386	0,0386	0,0386
o-xilè	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
anhídrid ftàlic	0,0316	0,0316	0,001	0,001	0,001
ftàlica	0	0	0	0	0
heavy	0,0011	0,0011	0	0	0
diòxid de carboni	0,102	0,102	0,1059	0,1059	0,1059
àcid ftàlic	0,0024	0,0024	0,0014	0,0014	0,0014

Taula 1.24.- Balanç de matèria de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

CORRENT	16	17	18	19	20
fracció vapor	1	0	0	0	0
temperatura [°C]	70,07	70,07	70,07	70,07	155
pressió [kPa]	103	103	103	103	103
cabal molar [kmol/h]	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0
cabal màssic [kg/h]	5129	5129	5129	5129	5129
cabal volumètric [m³/h]	4,229	4,229	4,229	4,229	4,533
densitat [kg/m³]	1213	1213	1213	1213	1131

COMPOSICIONS MOLARS					
oxigen	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0,1264	0,1264	0,1264	0,1264	0,1285
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0,0884	0,0884	0,0884	0,0884	0,0709
o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0,7438	0,7438	0,7438	0,7438	0,7586
ftàlica	0	0	0	0	0
heavy	0,0203	0,0203	0,0203	0,0203	0,0207
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0,021	0,021	0,021	0,021	0,0213

COMPOSICIONS MÀSSIQUES					
oxigen	0	0	0	0	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0,0942	0,0942	0,0942	0,0942	0,0941
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0,0121	0,0121	0,0121	0,0121	0,0095
o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0,8364	0,8364	0,8364	0,8364	0,839

ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0,0308	0,0308	0,0308	0,0308	0,031
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0,0265	0,0265	0,0265	0,0265	0,0264

Taula 1.25.- Balanç de matèria de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

CORRENT	21	22	23	24	25
fracció vapor	0	0	0	1	1
temperatura [°C]	155	200	200	200	200
pressió [kPa]	103	103	103	103	103
cabal molar [kmol/h]	39,0	36,5	2,50	1,50	4,00
cabal màssic [kg/h]	5129	5084	45,0	27,0	72,0
cabal volumètric [m³/h]	4,533	4,471	8,453	1011	1011
densitat [kg/m³]	1131	1137	5,267	0,02671	0,07122

COMPOSICIONS MOLARS					
oxigen	0	0	0	0	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0,1285	0,1285	0	0	0
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0,0709	0,0709	0,9899	0,9899	0,9899
o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0,7586	0,7586	0	0	0
ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0,0207	0,0207	0	0	0
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0,0213	0,0213	0,001	0,001	0,001

COMPOSICIONS MÀSSIQUES					
oxigen	0	0	0	0	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0,0941	0,0941	0	0	0
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0,0095	0,0095	0,9140	0,9140	0,9140
o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0,839	0,839	0	0	0
ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0,031	0,031	0	0	0
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0,0264	0,0264	0,0860	0,0860	0,0860

Taula 1.26.- Balanç de matèria de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

CORRENT	26	27	28	29	30
fracció vapor	1	0	0	0	0
temperatura [°C]	136,0	60,00	200	200	150
pressió [kPa]	98,00	96,70	103	103	103
cabal molar [kmol/h]	4,00	4,00	34,87	34,87	34,87
cabal màssic [kg/h]	72,0	72,0	5057	5057	5057
cabal volumètric [m³/h]	1011	0,07207	4,447	4,447	4,447
densitat [kg/m³]	0,07122	999	1137	1137	1137

COMPOSICIONS MOLARS					
oxigen	0	0	0	0	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0	0	0,0941	0,0941	0,0941
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0,9899	0,9899	0	0	0
o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0	0	0,8744	0,8744	0,8744
ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0	0	0,031	0,031	0,031
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0,001	0,001	0,0005	0,0005	0,0005

COMPOSICIONS MÀSSIQUES					
oxigen	0	0	0	0	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0	0	0,0636	0,0636	0,0636
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0,9140	0,9140	0	0	0
o-xilè	0,9140	0,9140	0	0	0
anhídrid ftàlic	0	0	0,8931	0,8931	0,8931
ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0	0	0,0428	0,0428	0,0428
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0,0860	0,0860	0,0006	0,0006	0,0006

Taula 1.27.- Balanç de matèria de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

CORRENT	31	32	33	34	35
fracció vapor	0	0	-	-	-
temperatura [°C]	100	100	25,00	25,00	25,00
pressió [kPa]	103	103	101,3	101,3	101,3
cabal molar [kmol/h]	34,87	2,943	-	-	-
cabal màssic [kg/h]	5057	289,6	289,6	289,6	289,6
cabal volumètric [m³/h]	4,447	0,2463	-	-	-
densitat [kg/m³]	1137	1176	-	-	-

COMPOSICIONS MOLARS					
oxigen	0	0	0	0	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0,0941	0,9948	1	1	1
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0	0	0	0	0
o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0,8744	0	0	0	0
ftalida	0	0	0	0	0
heavy	0,031	0	0	0	0
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0,0005	0,0052	0	0	0

COMPOSICIONS MÀSSIQUES					
oxigen	0	0	0	0	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0,0636	0,9912	1	1	1
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0	0	0	0	0
o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0,8931	0	0	0	0
ftàlica	0	0	0	0	0
heavy	0,0428	0	0	0	0
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0,0006	0,0088	0	0	0

Taula 1.28.- Balanç de matèria de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

CORRENT	36	37	38	39	40
fracció vapor	0	0	0	0	0
temperatura [°C]	254,6	254,6	150,0	25	25
pressió [kPa]	103	103	103	101,3	101,3
cabal molar [kmol/h]	31,6	31,6	43,64	2,80	2,80
cabal màssic [kg/h]	4735	4735	4295	4295	4295
cabal volumètric [m³/h]	4,601	4,601	3,732	2,80	2,80
densitat [kg/m³]	1029	1029	1151	1530	1530

COMPOSICIONS MOLARS					
oxigen	0	0	0	0	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0,0009	0,0009	0,0009	0	0
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0	0	0	0	0
o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0,9649	0,9649	0,9989	1	1
ftàlica	0	0	0	0	0
heavy	0,0342	0,0342	0,0002	0	0
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0	0	0	0	0

COMPOSICIONS MÀSSIQUES					
oxigen	0	0	0	0	0
nitrogen	0	0	0	0	0
anhídrid maleic	0,0006	0,0006	0,0006	0	0
o-tolualdehid	0	0	0	0	0
aigua	0	0	0	0	0
o-xilè	0	0	0	0	0
anhídrid ftàlic	0,9538	0,9538	0,9991	1	1
ftàlica	0	0	0	0	0
heavy	0,0457	0,0457	0,0003	0	0
diòxid de carboni	0	0	0	0	0
àcid ftàlic	0	0	0	0	0

Taula 1.29.- Balanç de matèria de la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

CORRENT	41	42	43
fracció vapor	0	0	0
temperatura [°C]	25	257,8	257,8
pressió [kPa]	101,3	103	103
cabal molar [kmol/h]	-	1,967	1,967
cabal màssic [kg/h]	4295	193,6	193,6
cabal volumètric [m³/h]	2,80	0,2832	0,2832
densitat [kg/m³]	1530	683,6	683,6

oxigen	0	0	0
nitrogen	0	0	0
anhídrid maleic	0	0	0
o-tolualdehid	0	0	0
aigua	0	0	0
o-xilè	0	0	0
anhídrid ftàlic	1	0,0017	0,0017
ftàlica	0	0	0
heavy	0	0,9983	0,9983
diòxid de carboni	0	0	0
àcid ftàlic	0	0	0

oxigen	0	0	0
nitrogen	0	0	0
anhídrid maleic	0	0	0
o-tolualdehid	0	0	0
aigua	0	0	0
o-xilè	0	0	0
anhídrid ftàlic	1	0,0013	0,0013
ftàlica	0	0	0
heavy	0	0,9987	0,9987
diòxid de carboni	0	0	0
àcid ftàlic	0	0	0

1.7 BIBLIOGRAFIA

- Hernández Castañeda, O., & Mendoza Escobedo, C. (2006). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. *Ingeniería, investigación y tecnología*.
- Manual del Ingeniero Químico | 6ta Edición | Perry, Robert / *Chemical Engineer's Handbook 6th Edition* | Perry, Robert.
- Raimon E. Kirk, Donald F. Othmer. Enciclopedia de la tecnología química.

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2681/III_-_Vanadio._Generalidades.pdf?sequence=7